1.072.604

1072.604

9073/99 DEK

Debreceni Egyetem
Egyetemi és Nemzeti Könyvtár
7233 7721

DEBRECZENI KIR.
GAZD. TANINTÉZET
KÖNYVTÁRA

1666

1666

A

TERMÉSZETTAN ELEMEI.

A KÖZÉPISKOLÁK FELSŐBB OSZTÁLYAI SZÁMÁRA

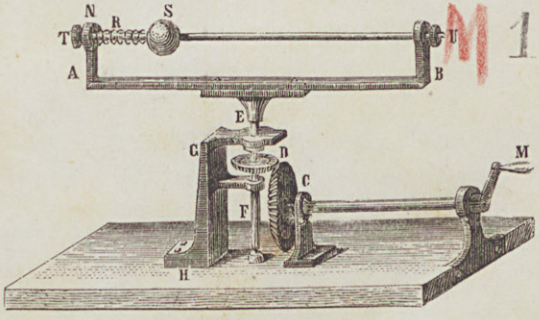
KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ ALAPELVEK FEJLŐDÉSE TÖRTÉNETÉRE.

IRTA

KONT GYULA.

DEBRECZENI KIR. GAZD. TANINTÉZET KÖNYVTÁRA

500 a szövegbe nyomatott ábrával.



M 1666

BUDAPEST, 1878.
KIADJA KILIÁN FRIGYES
M. K. EGYETEMI KÖNYVÁRUS.

DEBRECZENI M. K. GAZDASÁGI TANINTÉZET KÖNYVTÁRA

1072604

EGYETEMI KÖNYVTÁR DEBRECEN

Kcv. 1968 X.

Wigand F. K. nyomdája Pozsonyban.

DEBRECZENI KIR. GAZD. TANINTÉZET KÖNYVTÁRA

ELŐSZÓ.

Valamint a földi javak az embert boldogítani nem képesek, de hiányai őt a legprozaikusabb inségbe vetik: úgy a tudomány az embert müveltté nem teszi, de hiánya sovár, száraz ürességben marasztalja. És ez, úgy hiszem, még nincs eléggé méltányolva. — Ha valaki tudományt gyüjt, alapos jogon kérdezhetem, hogy minek teszi; mint mikor véres veritékkel aranyat látok jól elzárt ládákba halmozni, ha nem tudom, hogy lebilincselt nemes szenvedélyek felszabadítására fog szolgálni. Sajnálom majdnem mint a fösvényt, az olyat, ki tudománygyüjtéssel tölti idejét anélkül, hogy felszabaditás volna kitüzött célja.

Talán be kell bizonyítanom, hogy a tudományosság nem miveltség? Ujjal kell mutatnom a müveletlen tudósokra? Ugy hiszem nem, mindenki megbotlik bennük.

A tudományok túlbecslése, vagy jobban mondva, becsének félreismerése, sem a közönséges értelemben vett alkalmazására, sem magára a tudományra károsan nem hatott. Mert a gyakorlatba csak az megy át, a mi a tüzpróbát kiállotta; és a tudomány maga határozott természeti törvények szerint fejlődik, a milyet csak földrendítő esemény vet ki sodrából. Kárát csak egy vallotta és ez a nevelés.

Az emberek látván, hogy minden tudomány jó és hasznos, siettek az ifjakat idejekorán e jótéteményekben részesíteni. Minthogy azonban a természet az ifjúság korát a tudomány növekedéséhez mérten nem tágítá, a tudományokat kelle szük keretekbe szorítani. S minthogy az alapelvektől a tudomány hasznáig lévő tág tért eléggé comprimálni nem lehetett, elfürészelt részletekben rakták össze egy-egy „tankönyv“-ben a colossalis épületeket.

Ha az összes tankönyvirodalmat alaposan vizsgáljuk, figyelmünket ki nem kerülheti egy jellemző sajátosságuk; ez által lényegesen eltérnek minden más irodalmi terméktől, még a tudomány egyes szakaszainak kézi könyveitől is, melyekben egy-egy kiváló szakférfiú az addig elért eredményeket rendszerbe foglalja. E sajátosságuk abban áll, hogy egy-egy tudomány tankönyvei, mint valamely nyelvcsalád tagjai félre nem ismerhető hasonlatosságokkal birnak, melyek valamely közös eredetükre látszanak mutatni.

És valóban, ha a természettan tankönyveit eredetükig visszafelé követjük, látjuk, hogy akkor, a midőn a tudományok egyes gyakorlati életpályák szolgálatába léptek, az egyes kiváló tudósok összegyüjtött egyetemi előadásaiból egy, legföllebb két régebben készült kézi könyv mintájára összeállították azokat a részleteket, melyek majd a tudományra, majd a gyakorlatra nagyobb fontossággal voltak. S minthogy a különböző céloknak megfelelőleg a fontosság fogalma különböző volt, a tudománynak egymástól többé-kevésbbé eltérő mesterséges rendszerei egymást űzték. S mivel lehetetlen volt az e szempontokból fontosaknak talált törvényeket egy tankönyv keretében tökéletesen belátható módon tárgyalni, mivel továbbá nem lehetett ezt az elemiesség megszabta módszerekkel elérni: azért minden tankönyvben találunk oly állításokat, melyeket úgy, a mint ott indokolva vannak, nem lehet belátni. Ez még a nagyobb szabású tankönyvekre is áll, mert ezek rendesen nem arra használják a tért, hogy minél tökéletesebben indokolják az állításokat, hanem arra, hogy mennél több tárgyat halmozzanak össze.

E tankönyvekkel születtek meg aztán „a száraz tudományok"; támadtak a természettudományok absolut igazságai; és termettek meg az egyes tudományok szilárd korlátai, melyek a helyett, hogy felosztó vonalokként az egységes háztartás terjedelmes munkálatait megkönnyebbítették volna, szilárd választó falakká, még védő gátakká is fajultak. Céljuk pedig az volt, hogy a fiatalság aránylag csekély munkával sokat tudhasson, azaz az emberi elme mélyében rejlő kincseket könnyű szerrel kiaknázhassa, azaz megfelelő gondolkodás nélkül nagy igaz-

ságokhoz juthasson, azaz gépek segitségével munkát nyerhessen.

A mióta azonban annak az időnek küszöbét átléptük, melyben a traditiókkal szembeszállani se nem vétek, se nem örültség, melyben a perpetuum mobile gyökerei még a regények országában is elszáradnak; melyben a tudományosság fokát általában a természettel, a tapasztalattal való megegyezés méri; melyben az emberi elme fejlődését is határozott és hajthatatlan természeti törvényekre vezetik vissza: attól az időtől fogva bármily a munka valódi értékének mesterséges gyarapitása, az a képzelet, mely szerint gépezetek segítségével az ész erejének munkáját fokozni lehetne, mindkisebb foszlányokra szakad.

Igenis, a nagy igazságok szóbeli kifejezéseit elszajkolhatja bárki, de a szavakra meg nem rezzen a szív és az ész húrjainak csodálatos szövevénye, a mit az ember szellemi életének nevezünk; e húrokat csak a szív és az ész közvetetlen hatása birja megszólaltatni. Csak miután valóságos gondolattá váltak bennünk a szavak, csak akkor van képző, csak akkor van teremtő hatásuk.

De mikor váltak bennünk a szavak valóságos gondolattá? Ezt megitélni valóban nem könnyü feladat.

A megértésnek két egészen különböző neme van.

Megértettnek mondunk valamit, ha logikai sorozatok révén igaznak vallani kényszeríttetünk. Megértettnek mondjuk máskor, ha igaz voltát az eddigi tapasztalatok után mintegy önkénytelenül szükségesnek tartjuk; anélkül, hogy logikai bizonyítékát keresnök, igaz voltát átérezzük. Az első pillanatra talán az elsőnek határozottan túlyomó fontosságot és szerepet tulajdonítanánk az exact tudományokban, de érdemleges megfontolás után a másodikat azzal nem csak egyenlő rangra, hanem kétség kivül nálánál magasabbra kell emelnünk. Ennek bebizonyítására úgy hiszem csak a tudományphilosophiának azon törekvésére kell mutatnom, hogy a tudományok legszebb virágzásának közepette igyekszik különválasztani a logikai igazságokat a tisztán tapasztalati tényektől, és hogy e törekvésében majdnem meggyőzhetetlen nehézségekre akad. Mi nem tudjuk eldönteni, hogy ezt vagy azt az igazságot logikai

következtetések révén, vagy közvetetlen tapasztalatból nyertük-e! Hisz azt sem tudjuk, hogy a mathesis tapasztalati tudomány-e vagy sem! A szélsőségektől a közönségesig haladva a megértés e két nemét a legkülönbözőbb arányokban vegyítve találjuk. Megelégedhetünk-e, ezeknek megfontolása után azzal, ha valamely állítást valami mesterkélt logikával megértetünk? Ha még hozzá teszszük, hogy soha tudományt tiszta logikai következtetés uj alapigazsággal nem gyarapitá; hogy a leghelyesebb és legalaposabb ilyszerü következtetések agyrémek maradtak mindaddig, mig helyességük tényleg be nem bizonyult: akkor a felelet el nem maradhat, hogy bizony nem elégedhetünk meg, hogy minden uj igazságot valamelyes rendelkezésünkre álló eszközzel kell bizonyítanunk, hogy a megértés tökéletességének alig van határa és ezt csak akkor közelítettük meg, ha az igazságot érezzük is, értjük is. Ekkor vérré vált, ekkor megemésztettük.

A mondottakat annál nagyobb figyelemre kell méltatnunk, mennél könnyebben megesik, hogy, ha valamely gondolatkörben élünk, az igazságokat magunkévá tettük, hosszú időn át alkalmaztuk, hogy akkor közvetetlen beláthatónak mondunk olyast, a mit bizony belátni elég bajos, a mit csak kellő tapasztalatok és figyelmes következtetések révén lehet belátni, lehet megérteni.

S mivel a próbakő, a kihallgatás, mely megmutassa, hogy helyesen jártunk-e el, fölötte megbizhatatlan, az eljárás útját-módját kell annál gondosabban meghatároznunk.

A mondottakhoz, melyek szerint tökéletesebben, mint az eddig szokásos volt, kell megértetnünk azt, a mit adunk, még két adatra van szükségünk, hogy a természettan tárgyalása módját meghatározhassuk. Meg kell ugyanis állapítanunk a természettan tanításának célját, és a középiskolában tanítandó anyag mennyiségét.

A középiskolai tanitásnak általában főcélja lévén némi aránylag csekély ismeretek elsajátítása mellett a szellemi tehetségek mennél több oldalu fejlesztése; minden egyéb tekintetek, még az általános müveltség követelte ismerettár mellőzésével is: a természettan tanításának célja sem lehet

egyéb, mint a szellemi tehetségek azon irányban való fejlesztése, melyet a természettan specifikus szellemi tartalma lehetségessé tesz. A természettan specifikus szellemi iránya pedig leginkább abban nyilvánul, hogy a positivnak nevezett igazságok megállapítása módját a legvilágosabban tárja elénk. Világosabban mint bármely szellemi tudománynál látjuk itt, hogy az emberi elme mennyire bir positiv igazságokhoz jutni, és hogy mennyire megbizhatatlanok a közvetetlen okoskodás eredményei; hogy mennyi vigyázat kell, a legbiztosabb tapasztalatok mellett is, hogy az igazságot a maga tisztaságában megállapíthassuk. A kiben ez vérré válik, a ki bensőleg meggyőződik arról, hogy kellő alap nélküli következtetés biztosan a tévedés örvényébe vezet, az itéletével bizonyára a sokaság fölé emelkedik és soha el nem ragadtatja magát a meggyőződések oly neme által, mely a nagy sokaságot mindenha vezérelte, és jellemébe a balhitet és állhatatlanságot ki nem törölhető vonásokkal bele véste.

Nem szeretnék félreértetni. Nem azt mondottam, hogy csak a természettan vagy a természettudományok vannak hivatva e nagyszerü feladat teljesítésére. Csak azt mondom, hogy a természettan a legegyszerűbben tünteti elénk a positiv igazságok megállapítása módját. A szellemi tudományok is állapítanak meg positiv igazságokat, a mennyiben a természettudományok által kijelölt methodust, már majdnem kivétel nélkül követni törekednek. Különösen a philologia az, mely ma-holnap a természettudományokkal e tekintetben egyenlő rangra emelkedik. De azt kétségbe vonni nem lehet, hogy, valamint a tudomány világában a természettani igazságok felderítése indította meg a kutatás e módját, úgy az emberi elmének ez irányba való terelésére is a természettani igazságokat kell felhasználnunk első sorban. Itt fogalmazhatjuk a kiinduló pontokul szolgáló tapasztalatokat leghatározottabban és győződhetünk meg a vont következtetésekről a legegyszerűbben és legbiztosabban. *A természettan legyen tehát a gondolkodás legelemiebb iskolája.*

Hogy a természettan a középiskolában az itt kijelölt helyét betöltse, főbb eredményeit akkép kell tárgyal-

nunk, hogy a tanuló specifikus szellemi működését elsajátíthassa. A tanuló világosan lássa a positivnak nevezett igazságok felderítése módját. S minthogy a tudomány célja mindig összegyüjtött tapasztalatokból oly alapelveket alkotni, melyekből e tapasztalatokat megmagyarázhassa, melyekkel belőlük összefüggő egészet alkosson, melyeknek alapján, utólagosan igazolandó új tényekre következtethessen; világos, hogy az alapelvek képezik a csontvázat, mely körül a tudomány minden izma arányosan csoportosul. A természettan fejezetei tehát az alapelvek; és a középiskolai természettan fejezeteibe csak az való, a mi az alapelv megállapítására szükséges; de úgy, hogy minden egyes adatnak ez a célja világosan látható legyen.

Ha elfogadjuk, hogy a tudomány egy alapigazságának megértése nem egyszerü „bebizonyitás," hanem igen bonyolódott lelki működés eredménye, akkor a természettan eddigi tárgyalása módját többé-kevésbbé minden bizonynyal elhagyjuk, és keresve fogjuk keresni azt a módozatot, mely e célunkra vezessen. És hogyan találhatnók meg azt biztosabban, mint ha megvizsgáljuk, hogy mily fázisokon kelle az egyes alapelveknek keresztül menniök, mig általánosan elfogadott igazságokká váltak? Hogy is fejthetnők ki a tanuló előtt az igazságok felderítése módját jobban és célszerűbben, mint ha megmutatjuk, hogy ezen igazságok tényleg hogyan keletkeztek? — A természettan történetét a kezdő elé tárni merész kisérlet volna; de nem is az egyes felfedezések története az, a mire itt súlyt kell fektetni, hanem csupán az alapelvek fejlődését kell szemmel tartanunk. Különösen pedig azért kell az egyes korszakokban a különböző észjárást, az akkori felfogásokat tüzetesen tanulmányoznunk, mert nem tudjuk elég biztossággal elvonni a tanulónak később adandó, de bennünk már vérré vált igazságoktól. Azért mondjuk oly gyakran közvetetlenül beláthatónak azt, a mit úgy belátni lehetetlen. Csak a történetből tanulhatjuk meg, hogy az emberi ész a tények egy részét hogy fogja fel, ha a többi még ismeretlen előtte. *A történet legyen tehát a kalauz, mely minket vezéreljen.*

Melyek azok a főbb eredmények, azok a principiumok, melyek a középiskolai természettan fejezeteit képezzék? Az alapelv, a principium fogalma meglehetősen tág fogalom. Még azon esetre is, ha egy egész tudományág visszavezethető egy-két alapelvre, melyekből valamennyi tüneménye és törvénye levezethető, akkor is szükségünk van még oly alapelvekre, melyek a közbeeső csoportozatokat kapcsolják egybe. Csak ezek által válhat a roppant ismerethalmaz annyira áttekinthetővé, hogy közös eredetre vezethető vissza. Ez esetre a következetes felelet az volna, hogy mindazon másodrendű principiumokat kell tárgyalnunk, melyek az elsőrendüek megállapítására szükségesek. De így abba a hibába esnénk, melyet a tananyagmennyiségek meghatározásánál eddig általában elkövettek. Ezt ugyanis a priori vezették le a tanítás czéljából; anélkül, hogy figyelembe vették volna a másik, ennél még fontosabb és tőlünk még függetlenebb természeti tényezőt: az illető ifjúság fogékonyságát és idejét. Azért azt hiszem, hogy addig, mig tapasztalati adataink arra nézve nincsenek, hogy az illető korabeli ifjak mennyire birják az itt követelte módon a természettan igazságait átérezni, tökéletesen megérteni, addig azt sem lehet meghatározni, hogy mennyi időt kell fordítani az egyes részekre, és hogy mily részeket kell egyáltalában az érettebb kornak, a képzettebb férfinak fentartani.

A természettan e módján való tárgyalása tehát manap csak gyenge kisérlet lehet.

Ilyen kisérlet ez a tankönyv, melyet ezuttal a nyilvánosságnak átadók. Ez azonban még annyira sem közelíti meg az itt kitűzött célt, a mennyire megközelíteni az első lépéssel is lehetett volna. Ennek oka, gyenge erőmön kivül még az, hogy tetemesebben eltérnem az eddigi szokásoktól, kiadóm érdekében nem volt szabad. Minthogy tehát biztosan használható tankönyvet kellett adnom, tartózkodnom kelle elveim minden merész alkalmazásától. Nevezetesen elhagyni szerettem volna sokat, a mit még belevettem; ez által tér is maradt volna a megmaradtak tüzetesebb kidolgozására. Meglehet, hogy célszerübb volt az első lépést ily alakban megtenni. Hogy tovább fejlésre

érdemes-e, az a tisztelt szakférfiak birálatából és pártolásából fog kitünni. Egyre bátorkodom őket kérni, minthogy törekvésem részben az volt, hogy az eddigi szokástól, nevezetesen a külső beosztást illetőleg, mentül kevésbbé térjek el: hogy egyszerű átlapozás után ne itéljenek. Az alapos birálok megjegyzéseit, útbaigazitásait azonban kérve-kérem.

Budapest 1878-iki junius havában.

Kont Gyula.

1666

DEBRECZENI KIR. GAZD. TANINTÉZET KÖNYVTÁRA

TARTALOMJEGYZÉK.

Oldal sz.

Előszó III
Bevezetés 1

Első rész.

Erőműtan.

Első szakasz.

A mozgásról és okairól.

ELSŐ FEJEZET.

A tehetetlenség elve.

I. A szabadesés törvényei.

1. Galilei előtti elmélet . . 5
2. Galilei módszere . . . 6
3. Egyenletes és változó mozgás —
4. Egyenletesen gyorsuló mozgás 7
5. A szabadon eső testek egyenletesen gyorsuló mozgást követnek 8
6. A gyorsulás 9
7. Atwood esőgépe . . . —

II. A tehetetlenség elve . 10

MÁSODIK FEJEZET.

Erő és tömeg.

I. Az erő fogalma . . 12

II. A tömeg fogalma . —

III. Az erő mérése.

1. 13
2. A sebességek megmérése . —
3. A tömeg befolyása a sebességre 14
4. Az erő és a tömeg egysége . —
5. Különböző tömegű testek egyenlő sebesen esnek a földre . . . . . —

IV. A mozgásmennyiség . 15

V. Az erő munkája és a mozgás erélye . . . —

Oldal sz.

VI. Az erély megmaradásának elve . . . 16
2. Helyzeti erély . . . 17

HARMADIK FEJEZET.

Az erőparalellogramm tétele. Hatás és ellenhatás.

I. Egy erő hatása mozgásban lévő testre . . 17

II. Több erő együttes hatása 19

III. Hatás és ellenhatás.

1. 20
2. Ezen elv második alakja . 21

NEGYEDIK FEJEZET.

Előírt pályán való mozgás.

I. Az alaptétel . . 22

II. A testek esése a lejtőn . 23

III. Az egyenletes körmozgás 24

IV. A forgás síkjának megtartása . . . 27

V. Az inga mozgása.

1. 28
2. Az erély állandósága az ingánál 31
3. Összetett inga . . . . —
4. A nehézség-okozta gyorsulás nagyságának meghatározása 32
5. g értékének változása . . —
6. Az inga alkalmazása órákra . 33

ÖTÖDIK FEJEZET.

Az általános tömegvonzás. . 34

I. Kepler törvényei . . 35

II. Az égi testek vonzása —

III. A nehézség és az égi testek vonzásának azonossága 37

IV. Minden test vonzza a másikat . . . 38

Oldal sz.

Második szakasz.

A szilárd testek mechanikája.

ELSŐ FEJEZET.

A testek szerkezete. A szilárd testek rugékonysága.

I. A testek szerkezete . 40
II. A halmazállapotok . 42
III. Sűrűség és fajsúly . —
IV. A rugékonyság törvényei szilárd testekben.
1. 43
2. Rugékonyság a huzásnál . 44
3. Rugékonyság a csavarásnál . 45
4. Rugékonyság a hajlításnál . 46
5. A rugékonyság határa . . 47
6. A szilárdság 48
V. A testek ütközése . 49

MÁSODIK FEJEZET.

A szilárd testek statikája.

I. Több erő egyensúlya.
1. 52
2. Forgató erők egyensúlya . —
3. Párhuzamos erők . . . 53
II. Súlypont.
1. 54
2. Stabil, labil és közömbös súlyegyen . . . . . —
III. Az egyszerű gépek.
1. Az emelő 55
2. A mérleg 56
3. A csiga 57
4. A hengerkerék . . . 58
5. A lejtősík . . . . —
6. A csavar 60
7. Az ék . . . . . —

Harmadik szakasz.

A folyós testek mechanikája.

I. Nyomás és ruganyosság.
1. Az egyenlő nyomás elve . 61
2. A vízsajtó 62
II. A nehézség befolyása.
1. 63
2. Kisérleti bizonyítékok . 64
3. A nyomás mérése . . . 66
4. Hatás és ellenhatás . . —
III. Archimedes elve.
1. 67

Oldal sz.

2. Egymás fölé helyezett folyadékok 68
3. Úszó testek 69
IV. A fajsúly meghatározása.
1. . . . . —
2. Aräométerek 70
3. Folyadékok fajsúlyainak meghatározása 71
4. Változó térfogattal biró aräométerek . . . . —
5. Alkoholmérő 72
V. Közlekedő edények.
1. 73
2. Vízszínmérő 74
4. Libella 75
VI. Cohäsio és adhäsio.
1. A folyadékok cohäsiója . . —
2. Összenyomhatóság . . . 76
3. Adhäsio . . . . . —
4. A hajcsövesség . . . —
VII. A folyadékok kifolyása.
1. Torricelli tétele . . . 77
2. A kifolyó folyadékok mennyisége 79

Negyedik szakasz.

A gázok mechanikája.

ELSŐ FEJEZET.

Légkörünkről.

I. A levegő nehézsége. . 80
II. Légkörünk nyomása.
1. . . . . —
2. Torricelli felfedezése . . 81
III. A folyadékok légnyomásokozta mozgása.
1. Heron palackja . . . 83
2. Heron kutja . . . . —
3. A légnyomás akadályozza a kifolyást . . . . —
4. Mariotte palackja . . . 84
5. A szivornya . . . . —
6. A szivattyúk 85
IV. A barométer.
1. 88
2. A barométer készítése . . —
3. Álló barométer . . . —
4. Gay-Lussac-féle barométer . 89
5. Aneroid barométer . . —
6. A nyomás értéke . . . 90
V. A légszivattyú.
1. Guericke légszivattyúja . . —
2. Kétdugattyús szivattyú . . 91
3. A higany-légszivattyú . . 92

Oldal sz.

4. A légnyomás feltünő hatása . 93
5. A légsürítő . . . . . —

MÁSODIK FEJEZET.

A gázok rugékonysága.

I. A gázokról általában . 95

II. A gázok rugékonysága . —

1. . . . . —
2. A Boyle-Mariotte-féle törvény 96
3. Mariotte kisérletei . . . 97
4. Despretz és Regnault kisérletei 98
5. A gázok keveréke . . . . —
6. Manométerek 99

HARMADIK FEJEZET.

A gázok hatása a szilárd és folyós testekre.

I. Archimedes elve.

1. 99
2. A léggömb 100

II. A gázok diffusiója . —

III. A gázok absorbtiója folyadékok által.

1. 101
2. Gázkeverékek absorbtiója . 102

IV. A gázok mégsürítése szilárd testek felületein.

1. 102
2. Moser-féle képek . . . 103

Második rész.

Hangtan.

Első szakasz.

A hang keletkezése és terjedése.

I. A hang magasságáról . 105

II. A hang keletkezése . —

III. A testek rezgése.

1. 106
2. A húrok hangmagasságai . 107
3. Csomópontok 108
4. Harmonikus- vagy fölhangok . 109
5. A rudak rezgése . . . . —
6. A hangvilla 110
7. A lapok rezgése . . . 111

IV. A levegő mint hangforrás.

1. 112
2. Orgonasípok . . . . . —

Oldal sz.

V. A levegő hullámzása.

1. 114
2. A levegő hullámzásának kisérleti bizonyitéka . . . 116

VI. A hang terjedése.

1. A hang elgyengülése . . 118
2. A hang sebessége . . . 119
3. A hang sebességének változása —
4. A hang sebessége vizben . 120
5. A hang sebessége szilárd testekben . . . . . —

Második szakasz.

A hang visszaverődése és törése.

I. A hang visszaverődése.

1. 122
2. A hullám visszaverődésének törvénye 123
3. E törvény kisérleti bizonyitéka 125
4. A visszhang 126
5. A szócső 127

II. A hang törése.

1. 128
2. E törvény kisérleti bebizonyitása 130

Harmadik szakasz.

A hang minősége.

I. Physikai különbség a zene és zörej között . . 132

II. A zenei hang minősége . —

III. A hang erőssége . 133

IV. A hang magassága. Hullámhossz.

1. . . . . —
2. Savart fogaskereke . . —
3. A sirene 134
4. Adott hang rezgési száma . 136
5. A hangok zenei összefüggése 137
6. A hanglejtő vagy scala . . —
7. A zenében használt hangok absolut rezgési számai. . 138
8. A hallás határa . . . . —
9. Hullámhossz . . . . . —

V. Velehangzás . . 140

VI. A hanghullámok találkozása.

1. Egyenlő hosszú hullámok találkozása 142
2. Különböző hosszúságú hullámok találkozása . . . 143

Oldal sz.

VII. A hang jellege.

1. 144
2. A magánhangzók . . . —

Negyedik szakasz.

A hallásról.

I. A fül . . . 146

II. Az összhangzás és széthangzás okai . . . 149

Harmadik rész.

Fénytan.

Első szakasz.

A fény terjedése.

ELSŐ FEJEZET.

A fény akadálytalan terjedése.

I. A fény egyenes vonalu terjedése 151

II. A camera obscura . 153

III. A fény sebessége.

1. . . . . —
2. Fizeau módszere . . . 155

IV. A fény erőssége . 156

MÁSODIK FEJEZET.

A fény visszaverődése és törése.

I. A fény visszaverődése.

1. A visszavert fény iránya . 157
2. A visszavert fény erőssége . 158
3. A síktükör képei . . . —
4. A képnek a tükör által előidézett mozgása . . . 159

II. A fény törése.

1. A fény megállapitása . . 160
2. A törvény felfedezése . . —
3. A törő együttható . . . 162
4. A törés által származott kép helye . . . . . —
5. A fény törése prisma által . 163

Második szakasz.

Gömbtükrök és lencsék.

ELSŐ FEJEZET.

Gömbtükrök.

1. 165
2. A főgyüjtőpont . . . . —
3. A gyüjtősík 167

Oldal sz.

4. Egy, a főtengelyen kivül lévő világitó pontnak megfelelő gyüjtőpont 168
5. Valamely tárgy és hozzá tartozó kép helyzetének és nagyságának viszonya . . 169
6. A homorú tükör képeinek észlelése 170

MÁSODIK FEJEZET.

A fény törése gömbfelületek által határolt közegekben.

I. Egy gömbfelülettel határolt két közeg.

1. 171
2. A főgyüjtőpontok . . . —

II. A lencsék.

1. 173
2. A kétszerdomború lencse . 174
3. Az optikai középpont. Csomópontok. Főpontok és fősikok 175
4. Az optikai középpont és a csomópontok távolságai az A és A' pontoktól . . 177
5. A lencse főgyüjtőpontjai és a gyüjtő-távolságok . . . 178
6. A gyüjtősikok . . . 180
7. Végtelen keskeny lencsék . 181
8. A képek észlelése . . . 182
9. A gömbi eltérés . . . —

HARMADIK FEJEZET.

A szem és az optikai eszközök.

I. Az emberi szem.

1. A szem leirása . . . 183
2. A fénysugarak utja a szemben 185
3. Accomodatio, rövid- és messzelátás 186

II. Az optikai eszközök.

1. A lupe vagy az egyszerű górcső 188
2. Az összetett górcső . . 189
3. A távcsövek 191

Harmadik szakasz.

A fény különböző nemei.

ELSŐ FEJEZET.

A fény szinéről.

I. A szinkép.

1. 194
2. A szinek különböző elhajlitása 195
3. Fehér fény előállitása a szinek összetételei által . . . 196
4. Complementär-szinek . . 197
5. Sötét vonalak a nap szinképében 198

Oldal sz.

II. Az achromatismus . 199

III. A fény kisugárzása és elnyeletése.

1. A szilárd testek színképei . 200
2. A gázok színképei . . . 201
3. A fény absorbtiója . . . 202
4. Az égi testek alkatrészei . 203

IV. A testek színéről.

1. 205
2. Phosphorescenc . . . —
3. Fluorescenc 206

MÁSODIK FEJEZET.

A fény hő- és chemiai hatása.

I. A nap színképének hősugarai 206

II. A nap színképének chemiai sugarai.

1. 207
2. A photographia . . . 208

III. A fény-, hő- és chemiai sugarak azonos tulajdonságai 209

Negyedik szakasz.

A fény találkozása, hajlítása és polarisatiója.

ELSŐ FEJEZET.

A fény találkozása és hajlítása.

I. A fény elmélete . . 210

II. A fénytalálkozás.

1. . . . . —
2. Fresnel tükörkisérlete . . 212
3. A fény hullámhoszsza és rezgési száma 213

III. A fény hajlítása.

1. . . . . —
2. A diffractio-tünemények magyarázata 214
3. Huyghens elve . . . 215
4. Az ernyő szélének befolyása. 216

IV. Szines gyürük.

1. 217
2. E tünemény magyarázata . —

MÁSODIK FEJEZET.

Kettőstörés és polarisatió.

I, Kettőstörés.

1. 219
2. A kettőstörés törvényei . . 220
3. Positiv és negativ jegecek . 221
4. Következtetések . . . —
5. Kéttengelyes jegecek . . 223

II. Polarisatió.

1. . . . . —
2. Visszaverődés általi polarisatió 224

Oldal sz.

3. Brewster törvénye . . . 224
4. A polarisatió síkja . . . 225
5. A visszavert sugár a törősíkban van polarisálva . . —
6. Malus-photometriai mérései . 226
7. Törés általi polarisatió . . —
8. A polarisatió magyarázata . —
9. E magyarázat kisérleti bizonyitéka 228

III. A polarisalt fény visszaverődése . . . —

IV. Egytengelyes jegecek mint polarisatió-készülékek.

1. 230
2. Nicol-féle prisma . . . —
3. A turmalin . . . . —
4. A visszaverődés és törés általi polarisatió alkalmazása . —

HARMADIK FEJEZET.

Interferentia kettőstörés által.

I. Párhuzamos sugarak.

1. Kisérlet 232
2. Elmélet 234

II. Összehajló sugarak . 235

NEGYEDIK FEJEZET.

A polarisatió síkjának forgatása.

I. Kettős-törés a quarzban . 237

II. Circular-polarisatió.

1. Az inga lengése két egymásra merőleges impulsus hatása alatt 238
2. Kör- és elliptikus fényrezgés. 239
3. Két ellenkező irányú körrezgés összetétele . . . 240
4. A Fresnel-féle kettős quarzprisma 241

III. A polarisatió síkjának forgatása más testek által.

1. 242
2. Saccharimeter 243

Negyedik rész.

Hőtan.

Első szakasz.

A hőokozta kiterjedésről.

ELSŐ FEJEZET.

A mérséklet és mérése.

I. A mérséklet . . 244

II. A hőmerő.

1. A Drebbel-féle hőmérő . . 245

Oldal sz.
2. A florenci hőmérő . . . 246
3. A hőmérő állandó pontjai . —

MÁSODIK FEJEZET.

A testek hőokozta kiterjedése.

I. A szilárd testek kiterjedése.

1. 248
2. A kiterjedés együtthatója . 250
3. A területkiterjedés . . 251
4. A köbkiterjedés . . . 252
5. A sűrűség változása . . —

II. A folyadékok kiterjedése.

1. . . . . —
2. A higany absolut kiterjedése . 253
3. A víz kiterjedése . . . —

III. A gázok kiterjedése.

1. A Gay-Lussac-féle törvény . 254
2. A Mariotte-Gay-Lussac-féle törvény 255
3. Absolut mérséklet . . . 256
4. A levegő hőkiterjedési együtthatójának meghatározása . —
5. Egyéb gázok kiterjedése . 258

IV. A gázok fajsúlya és sűrűsége.

1. . . . . —
2. Regnault módszere . . 259
3. A gázok absolut fajsúlyai . 260

Második szakasz.

A halmazállapot változása.

ELSŐ FEJEZET.

Az olvadást és a megmerevedést kisérő tünemények.

I. Az olvadás . . 262

II. A megmerevedés.

1. . . . . —
2. Az olvadás és megmerevedés pontjának változása . . 263
3. Térfogat-változások a megmerevedésnél . . . —
4. Ötvények olvadó pontja . . 264
5. A jég idomíthatása . . —

MÁSODIK FEJEZET.

A párolgással járó tünemények.

I. A páraképzésről.

1. A forrás 264
2. A forrópont változása állandó nyomásnál 265

Oldal sz.
3. A forrópont változása a nyomással 266
4. Papin edénye . . . . —
5. Páraképzés forrás nélkül . 267

II. A gőzök üres térben.

1. Nemtelített gőzök . . . 268
2. Telített gőzök . . . 269

III. A telített gőzök feszítő erőinek megmérése.

1. 271
2. A forró vízből származó gőz feszítő ereje . . . . —
3. Sóoldatokból keletkező gőzök feszítő ereje . . . 272
4. A hőmérő forrópontjának meghatározása . . . . —
5. Magasságmérés hőmérővel . —
6. Különböző gőzök feszítő erői —
7. Folyadék-keverékekből származó gőzök feszítő erői . 273

IV. A gőzök sűrűségéről.

1. . . . . —
2. A túlhevített gőzök elméleti sűrűségei 274

V. A vízgőz sűrűsége a levegőben.

1. Párolgás gázt tartalmazó zárt térben . . . . . —
2. Párolgás a szabad levegőn . 275
3. A levegőben foglalt vízgőz sűrűségének meghatározása 276

VI. A gázoknak folyadékokká való sűrítése.

1. 277

Harmadik szakasz.

Magára a melegségre vonatkozó tüneményekről.

ELSŐ FEJEZET.

A hővezetés.

I. Szilárd testek hővezetőképessége.

1. 279
2. A vezetőképesség mérése . 280

II. A folyadékok vezető-képessége . . . 282

III. A gázok hővezető-képessége —

MÁSODIK FEJEZET.

A melegmennyiség fogalma és mérése.

I. A rejtett meleg felfedezése . 283
II. A fajmeleg . . 284

Oldal sz.

III. A melegmennyiség mérése 285

IV. A szilárd és folyós testek fajmelegeire vonatkozó törvények.

1. 287
2. Dulong és Petit-féle törvény. 288
3. Regnault készüléke . . —
4. Neumann törvénye . . 291
5. Regnault törvénye . . . 293
6. Kopp törvénye . . . . —

V. A gázok fajmelegei.

1. . . . . —
2. A gázok fajhevei állandó térfogatnál 296

Negyedik szakasz.

A hő elmélete.

ELSŐ FEJEZET.

Az alapelv megállapítása.

I. Rumford kisérlete . 298
II. Davy kisérlete . . 299
III. Davy elmélete . . 300

MÁSODIK FEJEZET.

A hő és mechanikai erély egyenértéke.

I. Az erő megmaradásának elve 301

II. A hő mechanikai egyenértéke.

1. 302
2. Joule kisérletei . . . —
3. Meleg átalakulása munkává . 303

HARMADIK FEJEZET.

A rejtett melegnek megfelelő munkamennyiség.

I. Az olvadásnál végrehajtott munka.

1. A testbe vezetett hő működése 304
2. Az olvasztó meleg megmérése 305
3. Az oldásnál felhasznált hőmennyiségről . . . 306

II. A párolgás és a forrás elmélete.

1. A párolgás magyarázata . —
2. A forrás magyarázata . . 307
3. A folyadékok mérséklete mindig valamivel magasabb, mint a származott gőzé . . —

III. A párolgásra felhasznált munkáról.

1. 308
2. Carré jégkészüléke . . 309

Oldal sz.

3. Leidenfrost-féle csep . . 310
4. A víz és a higany megfagyasztása izzó fémlemez fölött . —
5. A Leidenfrost-féle tünemény gőzkazánokban . . . 311
6. Ugyan e tüneményen alapszik —
7. A páraképződésre szükséges melegmennyiségnek meghatározása . . . . —

NEGYEDIK FEJEZET.

A gázok elmélete.

1. 313
2. Feszítő erő 314
3. Az összenyomásból származó hő . . . . . —
4. Lehűlés a kitágulás által . —
5. A Mariotte-féle törvény . 315
6. A Mariotte-Gay-Lussac-féle törvény elméleti levezetése . 316
7. A gáztömecsek közép-sebessége 318

ÖTÖDIK FEJEZET.

Hőfejlődés chemiai tünemények által.

I. A vegyülésnél fejlődő hő.

1. 320
2. Dulong kisérletei . . . 321
3. Favre és Silbermann eredményei . . . . . —
4. Hőváltozás egyéb vegyülésknél 322

II. Állati meleg.

1. 323
2. Az állati meleg keletkezése . 324
3. Dulong kisérlete . . . . —
4. Az állati erő 325

HATODIK FEJEZET.

A hőtan alkalmazása.

I. A melegség mint indító erő.

1. 325
2. A gőzgépek 326
3. Watt gépe 327
4. Watt teljes hatású gépe . —
5. A gőzkazán 329
6. A locomotiv 331
7. A gőzgép elmélete . . —

II. Fütés és szellőztetés.

1. Kürtők 333
2. A kürtőkből kiömlő lég sebességének meghatározása . —
3. Lég-, víz- és gőzfütés . . 334

Oldal sz.

Ötödik rész.

A delejesség és villámosságról.

Első szakasz.

A delejesség.

ELSŐ FEJEZET.

A delej hatása a vasra és más delejre.

1. 336
2. A delej sarkai . . . —
3. Mesterséges delej . . . 337
4. A két sark különböző tulajdonsága . . . . . —
5. A delej tartóképessége . . 338
6. Elmélet 340
7. Mechanikai erők befolyása a delejre . . . . . —
8. A melegség befolyása a delejességre 341

MÁSODIK FEJEZET.

A delejes távolhatás törvénye.

1. 343
2. Coulomb sodrati mérleg . 344
3. A föld irányító hatása . . 345
4. A delejes vonzás és taszítás 346
5. A delejrúd teljes hatása . 347

HARMADIK FEJEZET.

Az elhajlás és lehajlás.

1. A delejtű elhajlása . . 349
2. A delejtű lehajlása . . 350
3. Elmélet 351

Második szakasz.

A statikai villámosság.

ELSŐ FEJEZET.

A statikai villámosság alaptüneményei.

I. A villámos vonzás és taszítás 352
II. A villámos fény . 353
III. Vezetők és szigetelők . 354
IV. A villámosság két neme 356
V. A villámos influentia . 358
VI. Elmélet . . 360
VII. A villámosság mutatója 362

Oldal sz.

VIII. A villámos vonzás és taszítás törvénye.

1. 363
2. A villámosság mennyisége . —

NEGYEDIK FEJEZET.

A villámosság elterjedése a vezetőkön.

I. A csúcsok hatása.

1. 363
2. E hatás magyarázata . . 365

II. A villámosság a vezetőkön.

1. . . . . —
2. A felületen való elterjedés magyarázata . . . —
3. A villámosság sűrűsége . . 367
4. A villámosság sűrűsége a villámozott test különböző pontjain . . . . . —

ÖTÖDIK FEJEZET.

A villámosság sűrítése és a villámgépek.

I. A leydeni palack felfedezése 369
II. A leydeni palack magyarázata.

1. A leydeni palack két felülete ellentétes villámosságot tartalmaz 370
2. Leydeni batteriák . . . —
3. A villámosság a palack üvegén tartózkodik 371
4. Franklin táblája . . . —
5. Wilke és Aepinus légtáblái . —
6. A leydeni palack elmélete . —

III. Volta condensatora . 372
IV. Volta elektrophorja . 373

V. A villámgépek.

1. . . . . —
2. Az ujabb gépek . . . 374
3. A Holtz-féle influentia-gép . 376

HATODIK FEJEZET.

A villámosság kisütése és a kisütés hatása.

I. A villámáram . . 379

II. A villámszikra.

1. A szikra hoszsza . . . 380
2. A villámosság sebessége . . 381
3. A szikra alakja . . . —
4. A villámszikra légritkított térben 382
5. Lichtenberg-féle alakok . . 383
6. A villámszikra sikamlása . —

Oldal sz.

III. A villámszikra mechanikai hatása . . . 384
IV. A szikra physikai hatása.
1. Gyulékony testek meggyujtása 385
2. Fémdrótok izzítása . . 386
3. A hőhatás törvényei . . —
V. A szikra physiologiai hatása . . . 388
VI. A kisütés áramának chemiai hatása . . —

Harmadik szakasz.
A villámáramok.

ELSŐ FEJEZET.
A villámáram keletkezése.

I. Galvanismus . . 389
II. A fémek sorrendje . 391
III. A chemiai elmélet.
1. 392
2. Chemiai egyesülésnél származó villámosság 393
IV. Villámtelepek.
1. Villámáram . . . . —
2. Volta oszlopa . . . . —
3. Wollaston telepe . . . 394
4. Száraz villámoszlop . . —
V. Az áram elméletéhez . 395

MÁSODIK FEJEZET.
Az áramok chemiai hatása.

I. Elektrolysis.
1. A víz szétbontása . . . 396
2. Más testek szétbontása . . 397
3. Galvanoplastika . . . 398
4. Galvanikus aranyozás és ezüstözés 399
II. Az áram erősségének megmérése.
1. Voltaméter . . . . —
2. Faraday törvénye . . . 400
III. Az elektrodok polarisatiója. Állandó telepek.
1. Az elektrodok polarisatiója . —
2. Állandó telepek . . . 401

HARMADIK FEJEZET.
Az áram távolhatása.

I. A delejtű eltérítése.
1. Oersted felfedezése . . 403
2. Ampère törvénye . . . —
3. A galvanométer . . . 404

Oldal sz.

II. Az áram erősségének mértéke.
1. A sinusbussol 405
2. A tangensbussol . . . 406
3. A delejes és chemiai mérték 407
III. A delej hatása az áramra.
1. Ampère állványa . . . —
IV. Az áramok kölcsönös hatása.
1. 408
2. Párhuzamos áramok . . 410
3. Széthajló áramok . . . —
4. Ugyanazon áram egyes részeinek egymásra való hatása . 411
5. Görbékben vezetett áramok . 412
6. Végtelen áramok hatása . —
V. Ampère elmélete a delejességről 413
VI. Delejezés az áram által.
1. 414
2. A delejezés törvényei . . 415
3. Delejezés statikai villamosság által 416
VII. Diamagnetismus . —

NEGYEDIK FEJEZET.
Hő-villámáramok. Ohm törvénye.

I. Hő-villámáramok.
1. 418
2. Hővillám-telepek . . . 420
II. Az ellentállás . . 421
III. Pouillet kisérletei.
1. . . . . —
2. Egyenértékű vezetők. Ellentállás 423
3. Elágazó vezetők . . . 424
IV. Chemiai telepeknél . 425
V. A vezető-képesség mérése.
1. A rheostat 427
2. A rheochord 428
3. Siemens dugaszkészüléke . —
4. Wheatstone hidja . . . 429
5. A fémek fajlagos ellentállásai 430
6. Folyadékok vezetőképessége . 431
VI. Az elektromotorikus erő mérése.
1. Fechner módszere . . . 432
2. Wheatstone módszere . . 433
3. Poggendorf compensatió-módszere . . . . . —
4. Eredmények 435

Oldal sz.

ÖTÖDIK FEJEZET.

Joule törvénye.

I. A záró vezetőkben fejlődő meleg mérése.

1. 437
2. Folyadékok megmelegedése . 438
3. Meleg-fejlődés a telepekben . —

III. A záró vezető mérséklete.

1. 440
2. A forrasztó helyek megmelegedése 441

III. A villámos fény.

1. 442

HATODIK FEJEZET.

Az inductióról.

I. Az inductió a drótokban.

1. 443
2. Inductió delej által . . 445
3. Az inductió törvénye . . —
4. A földdelejesség-okozta inductió . . . . . —

II. Vezető tömegekben létesitett inductió . . . 447

III. Az áram inductiója saját vezetőjére . . . 448

IV. Az inducalt áram mennyisége és erőssége.

1. Az inducalt áramok villámos mennyisége 449
2. Az inducalt áramok erőssége 450
3. Az inductió elektromotorikus ereje 451

V. Magasbrendü inductió-áramok . . . 452

Oldal sz.

VI. Statikai villamosság által inducalt áramok . . 453

VII. Inductió-készülékek.

1. Ruhmkorff gépe . . . 454
2. Foucault interruptora . . 456
3. Stöhrer készüléke . . . 457

VIII. Az inductió-szikra.

1. 458
2. A delej hatása a villámos fényre 461

HETEDIK FEJEZET.

Mechanikai mozgás által létesíthető villámosság és villámosság által létesíthető mechanikai mozgásról.

I. Mechanikai mozgás által delejjel létesíthető villámosságról.

1. Clarke gépe 462
2. Siemens tekercse és Wilde gépe 463
3. Gramme gépe . . . 466

II. A villámosság által delejjel letesíthető mechanikai mozgásról.

1. 468
2. Ritchie forgó elektromagnese —
3. Page gépe 470

III. Az elektromagnetikus gépek elméletéhez . . —

IV. Villámos telegraphia.

1. 473
2. A harangjelző . . . 474
3. Morse irókészüléke . . —
4. A vezető drót . . . 478
5. Hughes telegraphja . . —
6. A rajzoló telegraph . . 480

1666

DEBRECZENI m. kir. gazdasági akadémia KÖNYVTÁRA

BEVEZETÉS.

Minden tudomány célja gyüjtött tapasztalatokat megmagyarázni. E szerint a tudomány működését két részre lehet osztani, tapasztalatok gyüjtésére és ezek megmagyarázására; azonban e két részt korántsem lehet a szellemi tevékenységet illetőleg két, egymástól különálló, élesen határolt résznek tekinteni, mint némelyek tenni szeretik, mondván, hogy a tudomány két részből áll: tapasztalatok gyüjtéséből és az emberi szellem működéséből, mely e tapasztalatokat megmagyarázza. Az emberi szellem ép oly mérvben van igénybe véve a tapasztalatok gyüjtésénél, mint azok megmagyarázásánál. Mert bármily egyszerű tapasztalat följegyzése gondos megfigyelést igényel, a mennyiben mindazon körülményt, mely az illető ténynyel szoros kapcsolatban nincsen, el kell különíteni azon körülményektől, melyek az észlelt tüneményt létesítik. Határozottan meg kell mondani, hogy ilyen körülmények között ez a tünemény áll elő. S minthogy a természet a tüneményeket complicált csoportozatokban vezeti érzékeink elé, gyakran igen nehéz az egyes tüneményeknek megfelelő körülményeket meghatározni. Például csak azon egy eset szolgáljon, hogy Aristoteles-től Galilei-ig, tehát kétezer éven át, nem tudták meghatározni, hogy az eldobott kő mozgására a levegő jelenléte okvetetlenül szükséges-e vagy nem.

Azon körülmények meghatározására, melyek valamely természeti tüneményt létesítenek, kisérleteket szoktunk tenni; vagyis a kérdéses körülményeket mesterségesen előállítjuk, és megfigyeljük, hogy a várt tünemény bekövetkezik-e.

Azon mód, mely szerint valamely tünemény végbe megy, és azon módosulás, melyet szenved a körülmények megváltoztatásával, törvény-nek neveztetik. A törvényeket kétféleképen lehet megállapítani: először közvetetlen megfigyelés vagy kisérletek által, másod-

A DEBRECZENI GAZDASÁGI TANINTÉZET KÖNYVTÁRA

szor a már ezen irányban tett tapasztalatok alapján történt föltevések kisérleti igazolása által. Ugyanis gyakran megesik, hogy a buvár mintegy érzi a keresett törvényt, anélkül, hogy annak igazságáról meggyőződhetnék; ekkor felveszi a törvényt, meghatározza, hogy e törvény alapján a tünemény miképp fog mutatkozni a létesíthető körülmények között, és azután meggyőződik róla, hogy a vont következtetések helyesek-e.

Ebből látjuk, hogy a törvények is csak tapasztalati tények.

Azonban a tudomány a tapasztalatok ismeretével nem elégszik meg, hanem azokat megmagyarázni igyekszik. Miben áll már most a tapasztalatok megmagyarázása? A természet működésének végső okait megadni emberi észnek nem adatott; szükséges lesz tehát meghatároznunk, hogy mikor van, tudományos felfogásunk szerint, valamely tüneménynek oka megadva, vagyis mit értünk megmagyarázás alatt.

Ha a természet tüneményeit vizsgáljuk, önkénytelenül merül fel bennünk azon gondolat, hogy azok bizonyos összefüggésben vannak egymással, t. i. hogy az egyik a másiknak következménye. A vizsgálatok csakugyan mutatták, hogy a tünemények ily módon való kapcsolata a természetet jellemzik; és e kapcsolat földerítése a tudomány tulajdonképeni feladata. Sok ízben sikerült már felderíteni, hogy egy egész, nagy tünemény-csoportozat egy tünemény következménye; más esetben ilyen tünemény-csoportozatot, mint önkényt ténynek felvett, de érzékileg meg nem vizsgálható állításból sikerült következtetni. Ilyen állítást hypothesis-nek nevezünk. A hypothesis valószinűsége kevésbbé fontos kérdés, mint az, hogy a körébe tartozó tények természetes módon legyenek belőle következtethetők, és különösen, hogy egyetlen egy tünemény sem ellenkezzék vele. Ez által oly tüneményekből alkotunk összefüggő egészet, melyek különben, mint egyes szétszórt tények, tudományos értékkel alig birnának.

Ebből már látjuk, hogy a tünemények megmagyarázása alatt értjük egy tünemény-csoportozatnak akár észlelt, akár önkényt felvett tételből való következtetését. A következtetések alapjául felvett tételek elveknek vagy principiumoknak neveztetnek.

E munka főföladata tehát lesz, a természettan principiumait megismertetni, és a mennyire az elemi nehézségeket meg nem haladó okoskodással lehet, az eddig észlelt tüneményeket és azok törvényeit e principiumokra visszavezetni.

Hogy mily nehéz a természet tüneményei közt az emberi észt kielégítő összefüggést megállapítani, azt a természettan története feltünően bizonyítja, mutatván, hogy oly férfiak, kik a mathesist valódi hatalommá emelték, a legnagyobb erőmegfeszítéssel nem voltak képesek, a most már legegyszerűbbeknek látszó összefüggéseket megtalálni. Pedig a tapasztalatok gyüjtését az ókor egyik legnagyobb bölcsésze, Aristoteles (született 384-ben Kr. e.) nagy mértékben űzte; és

Archimedes, (született 287-ben Kr. e.) minden idők egyik legnagyobb mathematikai szelleme, a tapasztalatok alapján csodálatot gerjesztő gépezeteket szerkesztett: mégis csak egy-két elvet voltak képesek megállapítani, melyekből aránylag csak igen csekély tünemény magyarázható meg.

Ez újjmutatásul szolgáljon arra, hogy e tudomány tanításánál, illetőleg tanulásánál, különös óvatossággal járjunk el: rendkivül nehéz feladat, az egyes érzéki benyomások által az objectiv igazságokhoz hatolni. Igen gyakran megesik, hogy tisztán megértettnek hiszünk valamit, a mit tüzetesb megfontolás után megfoghatatlannak találunk; és azon tapasztalat, hogy ez nem csak kezdőknél, hanem gyakoroltabbaknál is megtörténik, elég intésül szolgálhat arra, hogy e tanulmányt kellő alapossággal űzzük. Alaposan tanulmányozunk pedig akkor, ha azon legegyszerűbb fogalmakat, melyek a tudomány sarkköveit képezik, de melyek felfogása és különböző módon való alkalmazása korántsem oly egyszerű, mint definitiójuk, tökéletesen elsajátítjuk. Azt, hogy némely fogalmak mily nehezen sajátíthatók el kellő hatáskörükkel, csak a tudomány történetéből láthatjuk, mely mutatja, hogy nagy szellemeknek elismert férfiak nem tudtak megbarátkozni azon fogalmakkal, melyeket most egészen egyszerűen és határozott biztossággal tárnak a tanuló elé.

Ennek elkerülésére a fogalmak és elvek megállapításánál azoknak fejlődési történetét tartottam szem előtt. És ha a tanuló néha ebből folyó bonyolodottabbnak látszó tárgyalást talál a szokásos egyszerűnél, ne riadjon vissza, hanem gondolja meg: valamint a természet kitűzött céljait legegyszerűbb módon éri el, úgy az ész gyümölcsei is a legegyszerűbb módon értek meg.

ELSŐ RÉSZ.

Erőműtan.

Az első általános tapasztalat, melyet a természet tüneményeinek vizsgálatánál nyerünk, az, hogy a tünemények mozgások eredményei; és e tapasztalat annál biztosabbnak és általánosabbnak mutatkozik, minél tisztább fogalmakat nyerünk a tünemények végbemeneteléről. Azért a mozgások és az őket előidéző okok ismerete képezik a természettan sarkkövét. Valamint e tudomány fejlődése nem indulhatott meg ezen ismeretek megállapítása előtt, úgy itt is mindenek előtt ezt — a mozgásokat és az őket előidéző okokat — kell tanulmányunk tárgyává tennünk.

ELSŐ SZAKASZ.

A mozgásról és annak okairól.

ELSŐ FEJEZET.

A tehetetlenség elve.

Természetesnek fogjuk találni, hogy a régiek a mozgásról, ezen általános tüneményről, idejekorán igyekeztek maguknak határozott fogalmakat szerezni; mire a feltünő égi testek mozgásai és a szabadon eső testek a legalkalmasabb anyagot nyujtották. De természetesnek kell találnunk azt is, hogy a mozgásról alkotott első fogalmak igen tökéletlenek voltak, minthogy alig van tünemény, melynek érzéki benyomása oly könnyen tévútra vezethetne, mint épen a mozgás.

A főok, mely a mozgás elméletének kifejtését megakadályozta, az volt, hogy kisérletileg nem volt megállapitható, hogy a test általában mozoghat-e, mialatt reá hatás nem gyakoroltatik; vagyis, hogy lehet e — mint némelyek a régi természettudósok közül tették — lehet-e a mozgásokat természetesekre és erőszakos mozgásokra fölosztani; és ha lehet, melyik a természetes mozgás, és melyik az erőszakos. Igy például másokkal Copernicus is a körmozgást tartotta természetesnek, vagyis olyannak, mely végbe mehet anélkül, hogy a mozgás folyamata alatt a testre hatás gyakoroltatnék; és az egyenes vonalú mozgást erőszakosnak tartotta.

Hogy mozgás lehetséges-e, anélkül, hogy a testre a mozgás alatt hatás gyakoroltatnék, és milyen mozgás az, mely ekkép végbe mehet, azt Galileinek, a szabadon eső testek mozgási törvényeinek felfedezése által, eléggé világosan megmutatni sikerült.

Első feladatunk tehát leend Galileit e fölfedezésében követni.

I. A szabad-esés törvényei.

1. **Galilei előtti elmélet.** — Galilei idejeig, a 16-ik század végeig, Aristoteles elmélete volt az uralkodó. E szerint a nehezebb testek gyorsabban esnének a földre, mint a könnyebbek. Ugyanazon test sebessége pedig esés közben azon arányban növekednék, melyben a már leírt út növekedett; vagyis, ha valamely test kétszer

akkora utat írt le akadálytalan esésében, úgy sebessége kétszer akkora lett, mint egy előbbi esetben.

E törvények helytelenségét, melyek nem észleletek alapján állíttattak fel, Galilei egész határozottsággal kimutatta.

Hogy a legkülönbözőbb testek egyenlő magasságról egyenlő idő alatt érnek a földre, azt Galilei 25 éves korában, mint pizai tanár, közvetetlen kisérlet által mutatta meg. Ugyanis a pizai templom tornyáról különböző súlyú testeket egyidejüleg ejtett le, és e testek majdnem tökéletesen egyidejüleg értek a földre.

A másik Aristoteles-féle törvényt Galilei közvetetlen okoskodás által döntötte meg. De nem elégedett meg e törvény megdöntésével, hanem a helyes törvény megkeresését tűzte ki feladatául.

Különösen kiemelendő, hogy e kutatásaiban Galilei a nehézség mivoltát tekinteten kivül hagyta. Csupán azon tényből indult ki, hogy a testek, ha magukra hagyatnak, a földre esnek, és azt kivánta megtudni, hogy hogyan esnek.

Ezt közvetetlenül észlelni nem lehet, mert a testek oly sebesen esnek, hogy esésök törvényét megfigyelni lehetetlen.

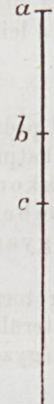
2. **Galilei módszere.** — Galilei következőkép járt el. Hosszabb gondolkodás után a neki legvalóbbszinűnek tünt törvényt feltételezte, t. i. hogy az eső test sebessége az esési idővel arányos, vagyis, hogy a sebesség a második időszak végén 2-szer akkora, a harmadikban 3-szor akkora, mint az első időszak végén. Ezután megvizsgálta, hogy e törvény szerint, milyen összefüggésben kell lenni az útnak az idővel; és kisérletekkel megmutatta, hogy az összefüggés tényleg olyan, a milyennek elmélete szerint lennie kell; a miből azon következtetést vonja, hogy felvett törvénye helyes. A kisérleti adatok megszerzésére megmutatta, habár nem elég szigorúan, hogy a testek lejtőn ép azon törvény szerint gördülnek le, mint a mely szerint szabadon esnek; és igy a lejtőn nyert eredményeket a szabad esésre vonatkoztatta.

3. **Egyenletes és változó mozgás.** — Mindenek előtt az egyenletes és a változó mozgásról kell magunknak tiszta fogalmat alkotnunk. Ugyanis egyenletes mozgás az, melynél egyenlő idők alatt egyenlő utak iratnak le. Két ilyen mozgás közül az sebesebb, melynél ugyanazon idő alatt nagyobb út iratik le. Tehát az egyenletes mozgás sebességét azon úttal mérhetjük, melyet a test az időegységben ír le. Ha a sebességet az időegységek számával szorozzuk, megkapjuk a leírt utat. Vagy ha a sebességet c-vel a másodpercek számát t-vel jelöljük, és a leírt utat s-sel, úgy

$$s = c \, . \, t$$

A változó mozgásnál valamely időszak végén elért sebességet következőkép mérjük: ha a test ezen időszak utolsó pillanatában lévő sebességével egyenletesen tovább mozogna, úgy minden időegységben leírt út méri a változó mozgás azon időszak végén lévő sebességét. Igy például, ha valamely test folytonosan mozogva az ad utat

1. ábra.



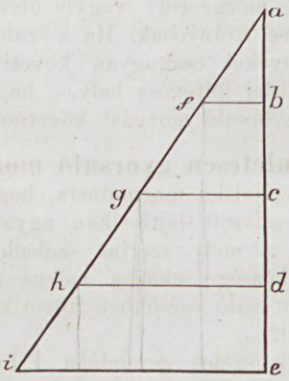
(1. ábra) akkép írná le, hogy az első másodperc végén b-nél, a második mp. végén c-nél és a harmadik mp. végén d-nél van, úgy e test mozgása változó mozgás. c-nél tehát a második másodperc végén lévő sebességét azon úttal mérjük, melyet a test egy másodperc alatt leírt volna, ha azon sebességét megtartotta volna, melylyel c-hez érkezett.

4. **Egyenletesen gyorsuló mozgás.** — Ha e sebességek az idővel arányosan növekszenek, úgy, hogy a 3-dik másodperc végén elért sebesség 3-szor akkora, mint az első másodperc végén, úgy a mozgást egyenletesen gyorsuló mozgásnak nevezzük.

Galilei tehát a szabadon eső test mozgását egyenletesen gyorsulónak vette fel.

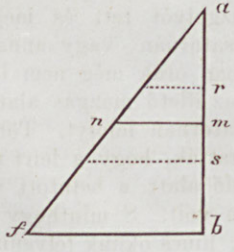
Ábrázoljuk a test esésének idejét az ac egyenessel (2. ábra), úgy, hogy az $ab = bc = cd = de$ részek egyenlő időszakokat jelöljenek. Az időszakok végein elért sebességekkel arányos hosszakat rakjunk fel ae-re merőlegesen, úgy Galilei fölvétele szerint gc 2-szer akkora, dh 3-szor akkora, mint bf s. i. t. A mértanból pedig tudjuk, hogy ha $ac : ab = gc : bf$ s. i. t., akkor ezen hosszak hasonló háromszögek oldalai, tehát az f, g, h pontok az ai egyenesbe esnek. Még mielőtt a test bf sebességét elérte, az ab időszak alatt kisebb sebességeket nyert, mely sebességek ábrázolva lesznek az a és b közé eső pontokból af-ig húzott merőlegesek hosszaival. S minthogy az ab időszakot végtelen kis részekre oszthatjuk, az ezeknek megfelelő sebességek vonalai ki fogják tölteni az egész abf háromszöget.

2. ábra.



Azon út meghatározására, melyet az eső test az ab időszak alatt le fog írni, tekintetbe kell vennünk, hogy a test semmitől (a-nál) egészen bf-ig (b-nél) folytonosan növekedő sebességekkel birt. Keressük meg azon sebességet, melylyel a testnek egyenletesen kellene mozognia, hogy az ab idő alatt akkora utat írjon le, mint esésénél. Ezen sebesség az abf háromszögben húzható sebességi vonalaknak középvonala által lesz ábrázolva. E középvonal ab felébe esik, mert ha e vonal fölött akárhol húzunk egy sebességi vonalat, például r-nél, (3. ábra), úgy az egyenlő távolságban alul s-nél huzott vonal épen annyival nagyobb mn-nél, mint a mennyivel az előbbi kisebb. Tehát a végtelen sok vonal közül mindegyiknek van olyan párja, melyek középhosszza mn;

3. ábra.



azért mn az ab idő alatti sebességek középértéke. S így, ha a test mn sebességgel egyenletesen mozog, úgy ab idő alatt akkora utat fog leírni, mint az ezen idő alatti valódi sebességeivel. Tehát a leírt utat s-et megkapjuk, ha mn-et szorozzuk ab-vel; vagyis

$$s = mn \,.\, ab.$$

Ha m ab felező pontja, akkor $bf = 2mn$; bf sebességgel pedig ab idő alatt leiratnék $bf \,.\, ab$ vagy $2mn \,.\, ab$ út. Mondhatjuk tehát, hogy az eső test valamely időszak alatt félakkora utat ír le, mint a mekkorát ezen időszak végén elért sebességével leírna, ha ezzel mozogna egyenletesen ugyanakkora időszak alatt.

Miután továbbá $mn \,.\, ab = \frac{1}{2} bf \,.\, ab$ az abf háromszög területét adja, a leírt út nagyságát a 2-dik ábra háromszögeinek területei ábrázolják. A háromszögek területei pedig a magasságok négyzeteivel arányosak, tehát :

$$abf : agc : ahd : \ldots\ldots = \overline{ab}^2 : \overline{ac}^2 : \overline{ad}^2 : \ldots\ldots$$

a háromszögek helyett az utakat téve, lesz

$$s : s' : s'' : \ldots\ldots = \overline{ab}^2 : \overline{ac}^2 : \overline{ad}^2 : \ldots\ldots$$

a mi a következő törvényt fejezi ki :

a leírt utak oly arányban vannak, mint a megfelelő idők négyzetei.

Mindez áll az egyenletesen gyorsuló mozgásról, vagyis olyan mozgásról, melynél a végsebességek az idővel arányosak. Ha a szabadon eső testek által leírt utak e törvényeket csakugyan követik, akkor viszont következtethetjük, hogy Galilei föltevése helyes, hogy t. i. a szabadon eső testek egyenletesen gyorsuló mozgást követnek.

5. **A szabadon eső testek egyenletesen gyorsuló mozgást követnek.** — Ennek bebizonyítására Galilei megmutatta, hogy igen valószinű, hogy sima nehéz gömbök csiszolt lejtő-síkon ugyanazon törvény szerint gördülnek le, mint a mely szerint szabadon esnek. A lejtő-síkon is csak a test nehézsége okozza mozgását. Azért megvizsgálta, hogy a testek a lejtőn való esésökben követik-e az egyenletesen gyorsuló mozgás törvényeit.

E célból 12 rőf hosszú és 3 hüvelyk széles gerendába 1 hüvelyknyi szélességü csatornát vájt, és azt, hogy elég síma legyen, pergamenttel kibélelte. A gerenda egyik oldalát tetszés szerint emelni és sülyeszteni lehetett. A csatornába síma rézgolyót tett és megfigyelte az időt, mely alatt a golyó az egész csatornán, vagy annak bizonyos részén végig futott. Minthogy akkoriban órák még nem léteztek, az időt azon víz sulyával mérte, mely az illető mozgás alatt, széles edényből az alzatra alkalmazott szűk csatornán lefolyt. Több mint százszor ismételt kisérletei csakugyan mutatták, hogy a leírt út az idő négyzetével arányos, vagyis 2-annyi idő alatt a befutott út 4-szer akkora, 3-annyi idő alatt 9-szer akkora volt. S minthogy e törvény a lejtő bármely hajlásánál mutatkozott, nincs okunk felvenni,

hogy azon határnál, melynél a lejtő már függélyes, e törvény megszünjék*). Kimondhatjuk tehát, hogy a szabadon eső testek egyenletesen gyorsuló mozgást követnek.

6. **A gyorsulás.** — A szabadon eső test sebessége tehát minden másodpercben ugyanazon mennyiséggel növekszik; jelöljük az egy másodpercben létesített sebességet g-vel, akkor a t-dik másodperc végén a sebesség

$$v = gt$$

S minthogy a t idő alatt leírt út fél akkora tartozik lenni, mintha a test ezen v sebességgel egyenletesen mozgott volna t ideig, azért a t idő alatt leírt út

$$s = \tfrac{1}{2} vt$$

vagy ha v értékét helyettesítjük

$$s = \tfrac{1}{2} gt^2.$$

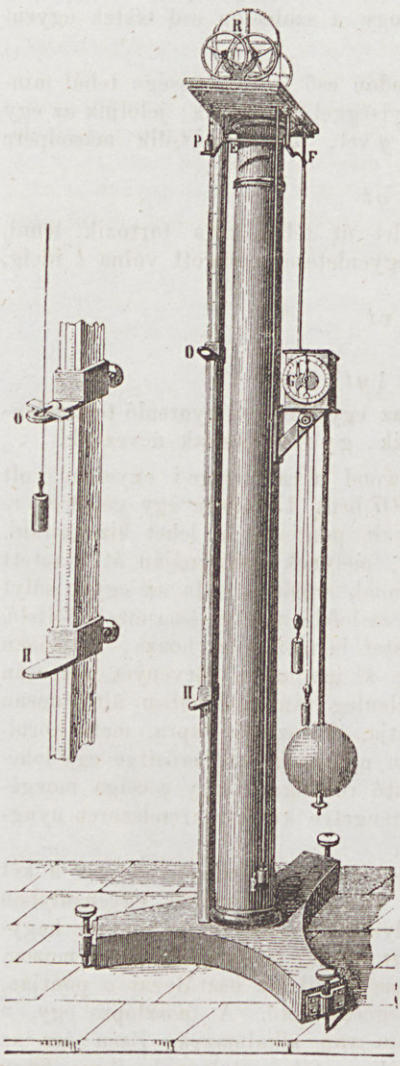
Ezen g sebességet, melylyel az egyenletesen gyorsuló test sebessége minden másodpercben növekszik, gyorsulásnak nevezzük.

7. **Atwood esőgépe.** — Atwood a cambridge-i egyetem volt tanára (született 1746, meghalt 1807-ben) 1774-ben egy gépet szerkesztett, melylyel az esés törvényeit pontosan be lehet bizonyítani. E gép lényegében egy csigából áll, melynek csatornáján át vezetett fonal két végén egyenlő súlyok vannak erősítve. Ha az egyik súlyt egy kis túlsúlylyal megtoldjuk, úgy ez lefelé mozog, és a másik fölfelé. E túlsúly, mely a két nagyobb testet is mozgásba hozza, lassabban esik, mintha magára van hagyva; s így esése törvényét pontosan észlelhetjük. A gépet, a mint jelenleg tanintézetekben általánosan el van terjedve, a 4-dik ábra mutatja. Vízszintes lapra, mely körülbelül 3 méter magasságú faoszlopon nyugszik, van erősítve egy lehetőleg könnyű és könnyen mozgatható rézcsiga. Hogy e csiga mozgékonysága fokoztassék, jól csiszolt tengelye két kerékrendszeren nyugszik, melyek forgását követik.

A csiga csatornájába selyem-szál van illesztve, melyen a két egyenlő súly függ (P, P′); ezek minden helyzetben egyensúlyban maradnak. Ha P-t egy kis túlsúlylyal nagyobbítjuk, és magára hagyjuk, úgy egy osztályzott léc mellett leesik, mialatt P' fölfelé mozog. A lécre két rézlap van erősítve, az egyik az osztályzat o pontján, és a másik (H) bárhol csavarral megerősíthető. A faoszlopra egy, a másodperceket pontosan ütő ingaóra van alkalmazva. Ezen óra az E F G kar által összeköttetésben áll a fölső rézlappal, úgy, hogy azon pillanatban, midőn az óra-mutató o ponthoz ér, az ezen célra szerkesztett képezet a rézlapot, melyen a P súly áll, lehajtja, mire a súly leesik. A leeső súly előre megszabott pályája végén, az összeütődésből támadó zörejjel érkezik a H laphoz. Többszöri kisérlet által

*) Galilei azon tételt, hogy a testek a lejtön azon törvény szerint esnek, mint szabadon, körülményesen bizonyítja, de bizonyítása nem szigorúbb az itt adottnál.

4. ábra.



megkeressük azon helyeket, melyekre a H lapot tenni kell, hogy azt a leeső súly pontosan a második, harmadik s. a. t. másodperccel egyidejüleg üsse meg.

E módon keresvén a súly útját 1, 2, 3 ..... másodpercben, például azt találjuk, hogy

idő: 1 mp. 2 mp. 3 mp. 4 mp.
út: 10 cm. 40 cm. 90 cm. 160 cm.

Ezen utak kiadódnak, ha az első másodperc útját a másodpercekben kifejezett idő négyzetével szorozzuk. Ugyanis

$$40 = 10 \cdot 2^2,\ 90 = 10 \cdot 3^2$$
$$\text{és } 160 = 10 \cdot 4^2.$$

Tehát szintén ezen képlet által fejezhetők ki:

$$s = \tfrac{1}{2} g' t^2.$$

Alább e géppel még más tanulságos kisérleteket fogunk tenni.

II. A tehetetlenség elve.

Galilei irataiból nem lehet határozottan megtudni, hogy milyen gondolatmenet vezette őt annak felvételére, hogy a szabadon eső test sebessége az esési idővel arányos; de igen valószinű, hogy a következő gondolatmenet, melyet a tény bebizonyitása után kifejtett, indította arra.

Ha a nehézséget, mint oly okot, (melyet röviden erőnek nevezhetünk) fogjuk fel, mely a testeket mozgásnak indítja, úgy a test egész esése alatt folytonosan ugyanakkora indító erőnek van kitéve. Midőn a test esésnek indul, sebessége semmi, a legközelebbi igen kis idő alatt az erő igen kis sebességet létesített, mely sebesség az erő állandó hatása által fokozatosan növekszik, úgy, hogy egy másodperc alatt már jelentékeny nagyságot ér el. A kérdés már most az, hogy milyen lesz e fokozatos növekedés? Minthogy az indító ok az esés egész tartama alatt ugyanaz maradt, fel kell tételeznünk, hogy ugyanazon kis időszak alatt, ugyanakkora sebességet fog létesiteni. Hogy ha tehát a test sebes-

sége τ igen kis időszak alatt o-től γ-ra növekszik, úgy a legközelebbi τ időszak alatt ismét γ-val fog növekedni. 2τ idő alatt a sebesség 2γ lesz. Ép úgy, ha az egy másodperc alatt összegyüjtött sebesség g, úgy 2 másodperc alatt $2g$ lesz, s. i. t.

Az, hogy a kisérlet ezen eredményt igazolja, feljogosít bennünket annak felvételére, hogy ezen különben is igen természetes gondolatmenet a valóságnak tökéletesen megfelel. És ha ezt teszszük, elfogadjuk azt is, hogy az egyszer megindított test tovább mozog akkor is, ha az indító ok hatni már megszünt; mozog pedig azon sebességgel, melylyel az utolsó pillanatban birt. Mert ha a test az első másodperc alatt g sebességet nyert, a második alatt szintén g-t, és a második mp. végén tényleg $2g$ sebességet találunk, úgy világos, hogy az erő behatása nélkül az első g sebességet megtartotta volna a második másodperc alatt is.

A ténynek ezen felfogása adja Galilei felfedezésének korszakalkotó jelentőségét, mert ezen eszméket azonnal általánosithatjuk, azokat minden mozgásra alkalmazván. Mondhatjuk tehát, hogy

minden sebesség, melylyel valamely tömeg mozog, elemi kis sebességek összetételéből származik. Az egyszer elért sebességet pedig megtartja akkor is, ha az indító ok hatni már megszünt; ezen sebességgel egyenes vonalú egyenletes mozgást követ mindaddig, mig valamely ok e mozgását meg nem változtatja.

Ha még hozzá teszszük, hogy nyugvásban lévő test mozgásnak nem indulhat mindaddig, míg külső ok mozgását elő nem idézi, úgy e törvényt a Newton által adott alakban röviden ekkép fejezhetjük ki:

A testek nyugvási, valamint mozgási állapotukat mindaddig megtartják, míg külső ok ezen állapotukat meg nem változtatja.

Ezt röviden akkép szokták kifejezni, hogy a testek tehetetlenek. E törvényt pedig a tehetetlenség törvényének nevezik. S miután alapjául szolgál minden mozgási tünemény megmagyarázására elvnek, principiumnak mondjuk.

Igen nevezetes, hogy ezen elv utolsó fogalmazásában mily egyszerűnek látszik, úgy annyira, hogy rendesen közvetetlenül belátható igazságnak mondják. Első részét, hogy t. i. a test önmagától mozgásnak nem indulhat, a mindennapi tapasztalat mutatja, ezt elfogadhatjuk; de második részét, mely az érzéki benyomásokkal tökéletesen ellenkezik, közvetetlenül belátható igazságnak nem vehetjük. Azt nem tapasztaljuk, hogy valamely test nyert sebességét örökké megtartaná, sőt ellenkezőleg mindig azt találjuk, hogy a megindított test nem sokára megáll. Látjuk is, hogy mily nehézségekkel kellett megküzdeni, míg e törvény meg volt állapítható.

Jellemző, hogy Aristoteles az ide vágó kérdést egész határozottsággal állította fel; de megoldását erőltetett, nehézkes magyarázatokban kereste. Ő ugyanis azt kérdezte, hogy mért mozog tovább az

eldobott kő, ha a kéz már nem mozgatja; és ezt akkép magyarázza, hogy a követ az összeszorított levegő nyomja előre; tehát oly módon, mint most a röpülést vagy uszást magyarázzuk.

Ma, a tehetetlenség elvének ismerete után, e kérdés megfejtése helyett azt kérdezzük, hogy mért áll meg az egyszer mozgásba hozott kő. És azt feleljük: mert a testeknek mindig változatlan törekvésök van a földre esni. Ha ok nincs, mely a kő állapotát megváltoztassa, akkor nem fog megállani, a mint a kéz elbocsátja, hanem a kézzel való mozgásakor nyert sebességgel örökké fog egyenes vonalban tovább mozogni.

MÁSODIK FEJEZET.

Erő és tömeg.

I. Az erő fogalma.

Az „erő“ szót a közéletben gyakran használjuk, és használtuk már itt is, de értelmét csak a tehetetlenség ismerete által vagyunk képesek a tudománykövetelte szabatossággal megállapítani.

Bármily okot, mely valamely testet mozgásba hoz, erőnek nevezünk. E definitiónál feltételezzük, hogy a test, melyre az erő hat, semmi más erő nem működik; ezen esetben a legkisebb erő bármily nagyságu testet képes mozgásba hozni. Ha erő hatása által mozgás nem létesül, akkor az alkalmazott erő ellenében mindig működik olyan erő, mely a mozgást megakadályozza. Ezen esetet egy külön fejezetben fogjuk tárgyalni, most csak azon esetet veszszük szemügyre, melynél az erő magára hagyott tömegre hat.

Ha a test, melyre az erő hat, már mozgásban van, akkor hatása e mozgás megváltoztatásában nyilvánul, mondhatjuk tehát, hogy

erőnek nevezzük azon okot, mely valamely test nyugvási vagy mozgási állapotát megváltoztatja.

E változtatás nagyságából lehet az erő nagyságára következtetni; vagyis azon mozgással, melyet az erő előidéz, nagyságát meg lehet mérni. De már a közéletből tudjuk, hogy különböző tömegü testek egyenlő sebes mozgatására különböző erőt kell alkalmaznunk. Az erő nagyságának meghatározására tehát először a testek tömegeit kell célszerüen összehasonlítanunk, és másodszor megvizsgálnunk, hogy ugyanazon erő hatása a tömeg nagyságától mikép függ.

II. A tömeg fogalma.

Valamely test anyagmennyiségét tömegnek nevezzük. Ha valamely test által elfoglalt térfogatba, mégegyszer annyi anyagot (például levegőt) szorítunk, mint a mennyi már benne volt, akkor azt mondjuk, hogy sűrűsége kétszer akkora lett.

Két különböző test anyagmennyiségének összehasonlítására a nehézséget használjuk. A nehézség olyan állandó erő, mely minden testrészecskét egyaránt a föld felé hajt; ha az egyikben két annyi testrészecske van, mint a másikban, akkor két annyi erővel igyekszik a földre esni. Ha a testek e mozgásukban meg vannak akadályozva, akkor alzatukra nyomást, vagy ha fel vannak függesztve, húzást gyakorolnak, e nyomást vagy húzást a test **súlyának** nevezzük.

Mi feltételezzük, hogy kétszer akkora tömeg súlya kétszer akkora, vagy, a mi egyre megy, ha valamely test súlya a másikénál kétszer akkora, akkor felveszszük, hogy tömege is kétszer akkora. Ezt a közéletben is emberemlékezet óta alkalmazzák. Ha a cukor mennyiségét, tehát tömegét akarjuk megtudni, súlyát mérjük meg.

III. Az erő mérése.

1. Annak meghatározására, hogy különböző erők, különböző tömegekben milyen mozgást létesítenek, oly állapotba kellene hoznunk a tömegeket, melyben csak a megmérendő erő hat rájuk. Azonban ezt létesíteni nem lehet, minthogy a nehézség minden körülmény közt működik a testre. Egy módja még is van ennek létesítésére: ha magát a nehézséggel használjuk megmérendő erőnek. Miután az általa előidézett mozgás igen gyors, célszerüen használhatjuk ezen alapkisérletekre az Atwood-féle esőgépet.

2. **A sebességek megmérése.** — Fönnebb láttuk, hogy a nehézség, mint állandó erő, egyenletesen gyorsuló mozgást létesít; láttuk pedig abból, hogy a gyorsulás állandóságából következtetett utak a valóságnak megfelelnek. Az Atwood-féle esőgéppel direkt e gyorsulást, illetőleg a végsebességeket mérhetjük meg, miáltal nemcsak a végsebesség fogalma fog világosabban előtünni, hanem változását az erő és tömeg szerint tanulmányozhatjuk.

E célból az osztályzatra föl-le tolható gyűrűt alkalmazunk, melyen a leeső súly érintetlenül keresztül mehet. A mozgást előidéző túlsúlyt lemezalakban teszszük P-re, úgy, hogy az az esés közben a gyűrű által felfogatván, visszamarad, minélfogva a test csupán eddig elért sebességénél fogva halad tovább.

Tegyük a gyűrűt például 10 centiméter távolságra, akkor a súlyok fönt felvett viszonyánál ezen út 1 mp. alatt iratik le; és ha a H lapot a gyűrű alá a megfelelő pontokhoz helyezzük, úgy ezt találjuk:

idő	1 mp.	2 mp.	3 mp.	4 mp.
leírt utak . .	10 cm.	30 cm.	50 cm.	70 cm.

Tehát a második másodperc alatt, a túlsúly hatása nélkül, a test leírt $30 - 10 = 20$ centimétert; a harmadik másodperc alatt $50 - 30 = 20$ centimétert s í. t. Egyenlő idők alatt egyenlő utak irattak le, a mozgás tehát egyenletes volt. Az egyenletes mozgás sebessége pedig a 10 centiméternyi út elhagyása után nyert 20 centiméter volt.

3. **A tömeg befolyása a sebességre.** — Ha az előbbi súlyokat akkép változtatjuk meg, hogy az egész mozgatandó tömeg, tehát a $P + P'$, a túlsúly a forgó csigával együtt 2-szer akkora legyen, de a mozgást előidéző súlykülönbség ismét csak akkora legyen, mint az előbbi túlsúly, úgy az első másodperc végén elért sebesség nem lesz 20 centiméter, hanem ennek fele. Ebből látjuk, hogy ugyanazon erő kétszer akkora tömegben másodpercenként félszer akkora sebességet, — azaz félszer akkora gyorsulást létesít.

Ha a kisérletet akkép rendezzük, hogy az első kisérlet tömegét kétszer akkora túlsúly indítsa mozgásnak, úgy azt találjuk, hogy e mozgás gyorsulása kétakkora. Kétszeres erő tehát ugyanazon tömegben — természetesen ugyanazon időre vonatkoztatva, — kétszer nagyobb sebességet létesít.

4. **Az erő és a tömeg egysége.** — Ezeket ismerve már képesek vagyunk erőket megmérni. Ugyanis két erő közül az a nagyobb, mely ugyanazon tömegben, ugyanazon idő alatt nagyobb sebességet létesít.

Erőegységül pedig egyszerüen felvehetjük azon erőt, mely az időegység alatt a tömegegységben a sebesség egységét létesíti

Tömegegységül pedig választunk valamely tömegmennyiséget, melyet mindenkor pontosan előállíthatunk. Tömegegységül általánosan el lön fogadva azon 4 foku tiszta víznek tömege, mely egy köbcentiméter térfogatot foglal el. Ezen tömegmennyiség gramm-nak neveztetik.

Miután időegységünk a másodperc és hosszegységünk a méter, mondhatjuk:

azon erő, mely egy gramm tömegben egy másodperc alatt egy méter sebességet létesít, az erőegység.

A 3-dik pontban leírt kisérletekből e szerint következik, hogy azon P erő, mely m gramm tömegben másodpercenként g gyorsulást létesít, $m \cdot g$ erőegységgel egyenlő; tehát áll, hogy

$$P = m \cdot g$$

5. **Különböző tömegü testek egyenlő sebesen esnek a földre.** — Ezek után azon nevezetes tény okát, melyet Galilei kisérletileg bebizonyított, világosan beláthatjuk. Képzeljünk ugyanis egy m és egy $2m$ tömegü testet a nehézség hatásának kitéve; ha e két tömegre egyenlő erő működnék, akkor ez a másodikban fél akkora gyorsulást létesítene, mint az elsőben, tehát a nagyobb tömegü test lassabban haladna. De a nehézség minden tömegrészecskére egyenlően hat, tehát a második test egyik m tömegére akkora erő működik, mint az első testre, a másik m tömegére pedig szintén akkora; és így a $2m$ tömegre 2 akkora erő működik, mint az m tömegre; tehát a létesített gyorsulásoknak egyenlőknek kell lenniök. Különböző tömegü testekre működő nehézségi erő arányos lévén a tömeggel, a létesített gyorsulások egyenlők.

IV. A mozgásmennyiség.

Ha az erő a mozgatott tömegre hatni megszünt, úgy a test egyenletes mozgással folytatja útját. Ezen egyenletes mozgásból, minthogy csupán az erő hatásából származik, szintén következtethetünk az erő nagyságára. Valamely P erő által egy m tömegü testben másodpercenként előidézett gyorsulást a

$$P = mg$$

egyenletből számíthatjuk ki, melyből

$$g = \frac{P}{m}$$

Ha az erő t másodpercig működött, úgy a végsebesség

$$v = gt = \frac{P}{m} t$$

a miből

$$m \cdot v = P \cdot t$$

Ha valamely más P' erő m' tömegben, ugyancsak t másodperc alatt v' végsebességet létesít, úgy

$$m' v' = P' \cdot t \qquad \text{tehát}$$

$$m v : m' v' = P : P'$$

Vagyis: az erő arányos a tömeg és a sebesség szorzatával; tehát ezen szorzattal, melyet mozgásmennyiségnek neveznek, megmérhetjük az erő nagyságát.

V. Az erő munkája és a mozgás erélye.

Az m tömegnek útját, melyet a P erő t másodpercig tartó hatása alatt leír, a következő képlet adja meg:

$$s = \tfrac{1}{2} g t^2 = \tfrac{1}{2} \frac{P}{m} \cdot t^2$$

a sebesség képletéből pedig következik, hogy

$$v^2 = \frac{P^2}{m^2} t^2$$

melyből, $t^2 = \dfrac{v^2 m^2}{P^2}$ értéket az előbbi egyenletbe helyettesítvén, nyerjük, hogy

$$s = \tfrac{1}{2} \frac{P}{m} \cdot \frac{m^2}{P^2} \cdot v^2 = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{m}{P} \cdot v^2$$

vagy

$$P \cdot s = \tfrac{1}{2} m v^2$$

A fél tömeg és a sebesség négyzetének szorzata egyenlő az erő és azon út hoszszának szorzatával, mely alatt e sebességet létesítette.

Ha két erő P és P' egyenlő úton át működik két tömegre m és m'-re, és ezen út végén elért sebességeik v és v', úgy áll, hogy

$$\tfrac{1}{2} m v^2 : \tfrac{1}{2} m' v'^2 = P : P'$$

Ezen $\frac{1}{2} m v^2$ szorzatot elevenerőnek vagy a mozgás erélyének nevezzük. A nyert arányt tehát akkép értelmezhetjük, hogy az

inditó erők, melyek két tömegre ugyanazon úton át működtek, egyenes arányban vannak a tömegekben létesített eleven erőkkel, vagy a mozgási erélyekkel.

Az erő és azon út szorzatát, melyen át működött, P . *s*-t az erő munkájának nevezzük.

Ezen elnevezés azon alapszik, hogy a nehézség ellenében felemelendő test 2-szer annyi munkát igényel, ha tömege 2-szer akkora, vagy ha az egyszeri tömeget 2-szer oly magasra kell emelni. Hogy tehát ezen esetben a munkát a P . *s* szorzattal kell mérni, közvetetlenül belátható, minthogy egyre megy, ha 1 kilogrammot 2 méterre, vagy ha 2 kilogrammot 1 méter magasra emelünk; mindkét esetben kétszer kell 1 kilogrammot 1 méterre emelni.

A fönnebb nyert egyenletet

$$m \, . \, v = P \, . \, t$$

René des Cartes (Cartesius) (született 1596, meghalt 1650-ben) a legnevezetesebb bölcsészek egyike, vezette le, a mivel megmutatta, hogy mv szorzat méri az erő nagyságát. A második egyenletet

$$\tfrac{1}{2} mv^2 = Ps$$

Leibnitz vezette le, és $\frac{1}{2} mv^2$-t állitotta az mv ellenében, mint az erő mértékét. (Leibnitz született 1646-ban, meghalt 1716-ban.) Ebből a két tudós között hires tollvita támadt. D'Alembert 1743-ban megmutatta, hogy tulajdonképen mindkettőnek igaza volt, és hogy a vita csak a fogalmak határozatlanságából eredt.

VI. Az erély megmaradásának elve.

E nevezetes egyenlet

$$Ps = \tfrac{1}{2} mv^2$$

igen fontos elvet fejez ki, mely a legujabb korban ismertetett fel teljesen, és melylyel még több ízben fogunk találkozni. Ezen elv azt állítja, hogy valamint a chemia bizonyítása szerint a természetben anyag el nem veszhet és semmiből elő nem állhat, úgy erő sem mehet veszendőbe, sem pedig elő nem állhat; hanem a természetben meglévő anyag és erő csak különböző alakban tünik elő.

Ha e szerint valamely erő munkát hajtott végre, úgy el nem veszett, föl nem használtatott, hanem csak más alakot vett fel, mely alakjában ismét teljesen fellelhetjük.

A fönnebbi egyenlet ezt egy különös esetre mutatja meg; ugyanis mutatja, hogy a P erő munkája meg van a mozgatott tömegben, mint mozgási erély. Az m tömeg v sebességénél fogva minden pillanatban képes munkát végre hajtani, vagyis más tömeget, akár erők ellenében is, mozgásba hozni. Hogy a tömeg munkaképessége egyenlő az erő végrehajtott munkájával, azt a fönnebbi egyenlet azon különös esetre mutatja, a midőn az erő egészen magára hagyott tömegre működik.

A legujabb kor vívmánya az, hogy minden egyes esetben kimutatta, hogy az erő munkája el nem vész akkor sem, ha más erők

ellenében hajtotta végre a munkát; habár ezen esetekben a munka mint mozgási erély sincs meg a tömegben. Igy például, ha vízszintes alzaton mozgatunk valamely testet, erre erőt alkalmazunk, és mozgási erélyt még sem nyerünk. Alább látni fogjuk, hogy ilyen esetekben a tömeg sebessége, vagyis mozgási erélye, át megy a test részecseinek mozgásába, és ez által a munka meleg-, villanyos- vagy más erélylyé alakul át.

2. **Helyzeti erély.** — Azon egy esetet már itt is tárgyalhatjuk, melynél valamely erő a nehézség ellenében hajt végre munkát. Ha például valamely P erő egy m tömegü testet s magasságra felemel, ekkor a fölemelt testnek sebessége nincs. De ha a testet elereszttjük, úgy ezen s magasságról oly sebességgel érkezik le, hogy a $\frac{1}{2} mv^2$ szorzat egyenlő Ps-el.

A testnek tehát az s magasságban van erélye, dacára annak, hogy sebessége nincs, mert minden pillanatban képes munkát végrehajtani, és pedig azon erő hatásánál fogva, melynek ellenében a P erő a munkát végrehajtotta.

Ilyen erélyt, minthogy a test helyzete által bírja, helyzeti erélynek nevezünk.

HARMADIK FEJEZET.

Az erőparalellogramm tétele. Hatás és ellenhatás.

Az előbbiekből láttuk, hogy egy erő akkép hat nyugvásban lévő tömegre, hogy ennek bizonyos idő alatt nagyságával arányos gyorsulást kölcsönöz. Már most azt kell megvizsgálnunk, hogy milyen gyorsulást nyer azon test, melyre két vagy több erő egyidejüleg hat.

Vizsgáljuk meg először azon esetet, ha egy erő egyenletes mozgásban lévő testre hat.

I. Egy erő hatása mozgásban lévő testre.

Ha az erő a test mozgásával egyirányú, úgy épen azon gyorsulást létesíti, mintha a test nyugalomban volna. Ezt már Galilei fönnebb tárgyalt esési törvényeinél alkalmaztuk, úgy mint Galilei, t. i. anélkül, hogy általános tételbe foglaltuk volna.

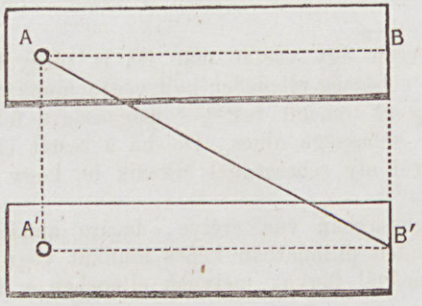
Ugyanis föltételeztük, hogy ha a test 1 vagy 2 másodpercnyi esése által bizonyos sebességgel bír, úgy a harmadik másodperc alatt hozzájárul azon sebesség, melyet a nehézség-erő az első másodpercben létesített; tehát hogy a mozgásban lévő test egy másodperc alatt ép akkora sebességet nyer, mint a nyugvásból elindított test.

S miután a kisérlet e fölvételt igazolja, ezt helyesnek kell elfogadnunk.

EGYETEMI KÖNYVTÁR DEBRECEN

Könnyen meggyőződhetünk arról is, hogy e tétel akkor is helyes, ha az erő nem a test mozgásának irányában működik. Tegyük fel például, hogy valamely golyó A-nál egy rugó által (5. ábra) az AB síma lapon akkép löketik el, hogy épen B-hez ér. Ha ez alatt az AB lap a golyóval együtt akkép mozog, hogy A′B′-hez ér, úgy a golyó e kettős mozgás után B′-nél lesz. Ha az AB lap nem mozgott volna, akkor a golyó B-hez jutott volna; ha pedig a golyó a lapon nem mozgott volna, akkor a golyó a lap mozgása következtében az AA′ utat irta volna le. — Világos, hogy a golyó a kettős mozgás alatt egy pillanatig sem maradt az AB, sem pedig az AA′ vonalon, hanem az AB′ utat írta le.

5. ábra.



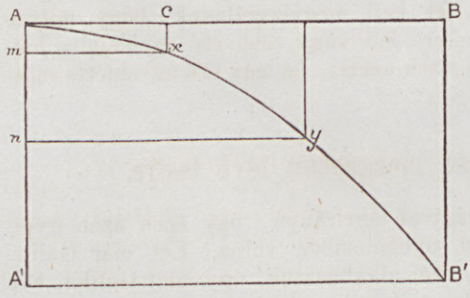
Az AB′ vonal az ABA′B′ paralellogramm átlója. Mondhatjuk tehát, hogy két mozgás eredményét akkép nyerjük, ha ugyanazon időnek megfelelő hoszszaikból képezett paralellogramm átlóját megszerkesztjük.

Képzeljük már most, hogy mialatt a golyó az AB utat egyenletesen befutja, a vízszintes lap leesik. Ha a golyó vízszintes mozgást nem követne, akkor az AA′ utat (6. ábra) egyenletesen gyorsuló mozgással írná le; tehát, ha az első másodpercben m-ig érne, úgy a másodikban n-nél, és a harmadikban A′-nél volna, úgy hogy

$$An = 4 . Am$$

és $AA' = 9 . Am$, e képletnek $s = \frac{1}{2} gt^2$ megfelelőleg, a hol $\frac{1}{2} g$ az első másodperc alatt leírt út, mely itt Am.

6. ábra.



AB irányában a golyó minden másodpercben péld. Ac utat írjon le.

Az egyenletesen gyorsuló mozgás igen kis idő alatt leírt útját egyenletesen leírt útnak vehetjük fel. Ez által azon kis idők alatt a mozgás eredményét az előbbi módon szerkeszthetjük meg. Tegyük fel, hogy az egyes másodpercekben a mozgás egyenletes; akkor az első másodperc alatt a golyó az Ax egyenest írja le, a második másodpercben az xy-t, s. i. t. Minthogy pedig az AA′ mozgás tényleg

minden pillanatban változik, azért az eredő mozgás az $Axy B'$ folytonos görbével lesz ábrázolva.

Minthogy e három másodperc alatt a test (habár nem jött A'-be) az AA'-el egyenlő mélységre süllyedt, mondhatjuk, hogy a függélyesen lefelé működő erő teljes hatását érvényesítette, vagyis, hogy az erő ép úgy működött a testre, mintha ez nyugvásban lett volna.

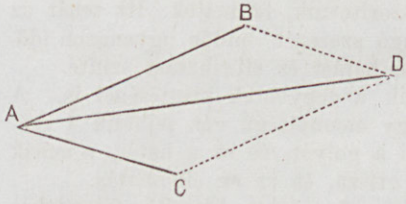
Az utolsó példa tökéletesen megfelel a hajításnak, mert ekkor is állandó sebességgel mozgó testre hat a nehézségi erő. Tehát az elhajított testek ilyen görbében mozognak a föld felé. A számítás, valamint a szerkesztés mutatja, hogy e görbe parabola.

II. Több erő együttes hatása.

Valamint egy erő által létesített mozgást egyenletes mozgással összegeztünk, úgy adhatunk össze két erő által létesített egyenletesen gyorsuló mozgásokat. Mindig csak egyenlő időknek megfelelő utakból kell a paralellogrammot szerkeszteni.

Igy például, ha valamely P erő az A pontot 1 mp. alatt A-tól B-ig vinné (7. ábra); és a P' erő A-tól C-ig, úgy a két erő együttes hatása alatt D-be jön.

7. ábra.



Tudjuk, hogy az AB út arányos a P erő nagyságával és AC P'-ével; a két erő iránya pedig szintén adva van az AB és AC vonalak által; ennek alapján mondhatjuk, hogy a két erő teljesen képviselve van a két vonal által.

Minthogy továbbá a két erő együttes hatása alatt az A pont 1 mp. alatt az AD utat írja le, ezt oly képzelt erővel vehetjük arányosnak, mely nagyságra és irányra oly hatást létesít, mint a P és P' erő együttesen. Ezen értelemben mondhatjuk, hogy nem csak a mozgásokat, hanem az erőket is összeadhatjuk. Tehát ha két adott erőt vonalak által ábrázolunk, úgy az ezekből alkotott paralellogramm átlója adja az eredőt. E tétel az erő-paralellogramm tételének neveztetik.

E módon több erőt is adhatunk össze; ugyanis ha a kettőből származó eredőt a harmadik erővel összegezzük, ezt ismét a negyedikkel, s. i. t.

E tétel megfordítottját is alkalmazhatjuk; ugyanis az adott AD erőt (előbbi ábra) két részlet-erőre bonthatjuk, AB és AC-re. Minthogy végtelen sok paralellogrammot lehet szerkeszteni, melyeknek átlója AD, végtelen sokféleképen is lehet az AD erőt felbontani. Az AB és AC erők AD componenseinek neveztetnek.

III. Hatás és ellenhatás.

1. Newton a mozgás törvényeinek alapjául három elvet állapít meg, melyek direkt be nem bizonyíthatók, de a belőlök vont következtetések helyessége által szigorúan vannak igazolva. E három elv két elsejét már megismertük: az első a tehetetlenség elve, és a második az, hogy az erő mozgásban lévő testre akkép működik, mint ha nyugvásban volna. A harmadik, melylyel most fogunk megismerkedni, azt fejezi ki, hogy minden hatás egy vele egyenlő, ellenkező irányú ellenhatást szül.

Igy például, ha két test között megfeszített rugót képzelünk, úgy a rugó mindegyiket egyenlően ellenkező irányban fogja szorítani. A mint a két test egyikét magára hagyjuk, ez a rugó nyomásának engedve, mozgásnak indul; ha a másik engedhetett volna a rugó nyomásának, ez is ugyanakkora erő hatása alatt ellenkező irányban haladt volna; ha pedig mindkettőt egyszerre bocsátanók szabadon, egyszerre indulnának el a két egyenlő, ellenkező irányú erő hatása alatt. E két erő egyikét hatásnak és másikát ellenhatásnak nevezzük.

Ha léggel telt hengerbe légmentesen záró dugaszt szorítunk, úgy a hengerben lévő levegőt megsűrítvén, ez két egyenlő, ellenkező irányú hatást fog kifejteni, t. i. alulról felfelé a dugaszra és fölülről lefelé a henger alapjára. Ha a dugaszt elereszt jük, a levegő feltolja, ha pedig a henger kihúzható alappal bír, ezt fogja kiszorítani, a mint az asztalról, melyre szorítottuk, leemeljük. Itt tehát az összeszorított levegő játszotta a rugó szerepét, midőn ugyanazon időben a két egyenlő, ellenkező irányú hatást és ellenhatást szülte.

Ugyan-e tünemény mutatkozik a fegyverek kisütésénél is. A lőpor meggyujtása által rögtön nagy mennyiségű gáz fejlődik a csőben, mely az egyik irányban kilöki a golyót, és ez a hatás, a másik irányban pedig a fegyvert taszítja vissza, és ez az ellenhatás.

A fönt használt hengerbe levegő helyett bármily folyadékot zárhatunk; a dugasz ekkor is behatol, ha lenyomjuk, s a folyadékot, habár csak igen csekély mértékben is, összeszorítja, mire ez hatást és ellenhatást gyakorol a dugaszra és az alapra.

Vegyünk már most szemügyre egy súlyokkal terhelt asztalt: az asztal lábai a nyomás következtében mérhető hoszszal megrövidülnek, vagy, ha görbék, meghajlanak, azaz feszült állapotba mennek át, és ruganyosságuk ép úgy, mint a rugóé, két egyenlő, ellenkező irányú erőt fejt ki; az egyik tartja a súlyokat, a másik nyomja az alzatot.

Ugyanez történik, ha valamely testet fonalra függesztünk. A fonal megfeszíttetik, és a feszítés irányában két erő fejlődik, az egyik alulról felfelé működvén, ellensúlyozza a test súlyát, mig a másik lefelé húzza a kapcsot, melyre a fonal erősítve van.

Élő lényeken mutatkozó tüneményeket is sorolhatunk fel. Ha például az ember valamely terhet emel fel a földről, akkor alulról felfelé irányzott függélyes erőt fejt ki; de egyidejüleg ép akkora erővel ellenkező irányban nyomja az alzatot, mely neki támaszul szolgál.

Valamely nehéz test elmozdítására, sőt saját testünk súlyának legyőzésére is, mint mondani szokás, támasztó pontra van szükségünk, t. i. izmainkat a mozdítandó test és a támasz között a rugó módjára megfeszítjük; a támasz szilárdságának le kell győzni az ellenhatást.

E példákban a hatás és ellenhatás mindig világosan tünik elő, a természeti erők azonban minden észrevehető közeg nélkül a távolba hatnak, mint a tömegvonzás, a delejes és villanyos taszitás, s í. t. Habár ezek működésénél semmi összeköttetést sem látunk az egymásra ható testek között, a két ellenkező erő jelenlétét mégis mindig ki lehet mutatni. Igy például a mily erővel vonzza a delej a vasat, ép oly erővel vonzza a vas a delejt is. Ha az egyik meg van erősitve, a másik hozzá közeledik; ha mindkettő szabad, kölcsönösen közelednek egymáshoz. Hogy a két vonzás tökéletesen egyenlő, azt abból is láthatjuk, hogy, ha a vasat és a delejt egy úszó fadarabra teszszük, úgy a fa, sem a vas, sem a delej irányában mozgást nem nyer, a minek bekövetkeznie kellene, ha az egyik irányban a vonzás nagyobb volna, mint a másikban.

Minthogy tehát mindenütt, a hol közvetetlen kisérletek lehetségesek, meggyőződhetünk a hatás és ellenhatás jelenlétéről és egyenlőségéről, ebből oly esetekre is következtetünk, melyeket kisérletileg megvizsgálnunk nem lehet. Fölveszszük, hogy, ha a nap vonzza a földet, a föld is vonzza a napot, és ha egy test a földre esik, a föld is a test felé esik. Általanosítjuk a tapasztalatot akkép, hogy minden lehető esetre kiterjesztjük azt, a mit minden egyes esetben igaznak találunk. — Az itt tapasztaltakat a következő elvbe foglalhatjuk össze:

Ha egy anyagi pont A, oly erő hatásának van kitéve, mely egy másik anyagi ponttól, B-től, ered: akkor ez utóbbi szintén ugyanakkora, ellenkező irányú erő hatásának van kitéve.

2. **Ezen elv második alakja.** — A hatás és ellenhatás elvét így is lehet kifejezni:

A test belső erők hatása alatt, mint egész, mozgásba nem jöhet. Egyes részei mozgásba jöhetnek, de úgy, hogy az egyik irányban létesített mozgásmennyiség egyenlő a vele ellenkező irányban létesített mozgásmennyiséggel.

E fogalmazás első részét a tehetetlenség elvének szigorúbb megállapitásaúl tekinthetjük; hogy t. i. csak külső erő változtathatja meg a test nyugvási vagy mozgási állapotát. Igy például valamely csónakot belső feszitések által mozgásba nem hozhatunk, ezt csak akkor érhetjük el, ha külső testet használhatunk támasztóul.

Második részét az első fogalmazás közvetetlen következményeül tekinthetjük. Ugyanis, ha a test szilárdsága a belső feszítő erőknek nem képes ellentállni, úgy egyes részei szétröpíttetnek. Minthogy azonban a feszítés mindig két egyenlő, ellenkező irányú erőből áll,

a mozgás egyoldalú nem lehet, hanem, ha a test m tömegü része bizonyos irányba löketik, úgy vagy a többi tömeg, vagy egy m' része ellenkező irányba fog mozdíttatni. Az m valamint az m' tömeg egyenlő erők által hozatván mozgásba, v és v' sebességeik akkorák tartoznak lenni, hogy az erőt mérő mozgásmennyiségeik egyenlők, vagyis, hogy

$$mv = m'v'$$

Így például, ha a rugó által feszített két test egyidejüleg enged a rugó hatásának, úgy oly sebességgel löketnek szét, melyek fordított arányban vannak tömegeikkel. (E fogalmazás az előbbi képlettel megegyez.)

Ha a golyó a lőpor feszítő ereje által kilöketik, úgy a fegyver oly sebességgel megy vissza, hogy e két mozgásmennyiség egyenlő.

Ha az ellenkező mozgásmennyiségeket ellenkező jelekkel összeadjuk, úgy a belső erők által létesített összes mozgásmennyiség semmi. A test tehát, mint egész, mozgásmennyiséget nem nyert. Ha pedig mozgásban volt, úgy mozgása alatt történt szétröpítése által mozgásmennyisége nem változott.

Ez felvilágositandja azon állítást, hogy a föld ép úgy esik a kő felé, mint a kő a föld felé. Ugyanis a földnek ezen irányú sebessége végtelen csekély, mert tömege a kő tömegéhez képest végtelen nagy.

Ha az ágyú, melyből a golyót kilőjük, a földhöz van erősítve, úgy az ellenhatás szintén észrevehetetlenné válik, mert a golyóval ellenkező irányú mozgás a földre ruháztatik át.

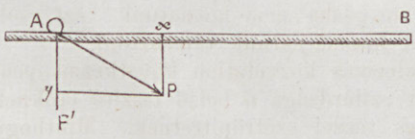
NEGYEDIK FEJEZET.

Előírt pályán való mozgás.

I. Az alaptétel.

E fejezetben azon esetet fogjuk tanulmányozni, a midőn a test a ráműködő erő irányát nem követheti, hanem az erő hatása alatt más irányban kénytelen mozogni. Kérdés, mekkora gyorsulást létesít az erő saját irányától eltérő irányban.

8. ábra.



E kérdést az erőparallelogramm megfordított tételével fejthetjük meg. Képzeljük e célra, hogy az A golyóra (8. ábra), mely csak az AB vizszintes csatornában mozoghat, egy P erő működik; legyen e P erő a papir síkjában.

Azt tapasztalatból tudjuk, hogy a golyó mozgásba nem jönne, ha a P erő AB-re merőlegesen AP' irányában működnék. Ekkor a golyó P erővel nyomná az alzatot. Minél inkább eltér az erő iránya AP'-től AB felé, annál nagyobb mozgást létesít, és az alzatra gyakorolt nyomás annál kisebb lesz; mig, ha az erő AB irányába esik, a nyomás semmi, és a test P-vel arányos gyorsulást nyer. A kérdés már most az, hogy az erő bizonyos irányánál, hányadrésze idéz elő mozgást és hányadrésze nyomást. Ha a test mozgását oly képzelt erőnek tulajdonítjuk, mely mozgása irányában működik, és a nyomást is oly erőnek, mely az alzatra merőlegesen működik, akkor a P erő hatását akkép foghatjuk fel, mintha e két erő által létesíttetnék. Tehát ha a P erőt az AB és AP' irányok szerint két componensre bontjuk, úgy azon két képzelt erőt nyerjük, melyek a P erő hatását létesítik. S így mondhatjuk, hogy az Ax erő létesíti a mozgást és az Ay erő a nyomást.

Ax a P erő vetülete az AB irányra, és Ay az erre merőleges irányra; e szerint áll, hogy

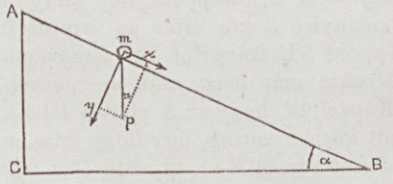
ha valamely test a ráműködő erő irányát nem követheti, oly gyorsulást nyer, melyet az erő vetületével a mozgás irányára egyenlő erő létesitene.

E tétel segitségével, a természettanban nagyfontosságú három esetet tanulmányozhatunk: A testek esését a lejtőn, az egyenletes körmozgást, és az inga mozgását.

II. A testek esése a lejtőn.

Ábrázoljon a 9. ábrában AB egy ferde síkot, melynek hajlásszöge a vízszintessel α. AB a lejtő hoszsza, AC magassága és BC alapja. Milyen gyorsulással esik a lejtőre tett m golyó, ha ez minden súrlódás nélkül gördülhet le? Az m golyó függélyesen működő mp súlyánál fogva mozog. Minthogy mozgását csak AB irányában végezheti, az mp erőt szétbontjuk ezen irányra, és a rá merőleges irányra, mert ebben az irányban is nyilvánul hatás, t. i. a nyomás. Ha a paralellogrammot megszerkesztjük, találjuk, hogy a mozgás olyan, mintha a golyóra mx-el arányos erő működnék. A létesített gyorsulás tehát mx-el arányos lesz.

9. ábra.



Az mpx és ABC hasonló háromszögekből következik, hogy

$$mx : mp = AC : AB$$

vagy a mozditó erő oly arányban van a teljes mp erőhöz, a mint a lejtő magassága van annak hoszszához. Tehát ha a lejtő hoszsza például kétszer akkora, mint magassága, akkor a test a lejtőn fél akkora gyorsulással esik, mintha szabadon esnék.

Legyen a lejtő hoszsza n-szer akkora, mint magassága. Ekkor a lejtőn eső test gyorsulása n-szer kisebb lesz, mint a szabad esésnél; tehát n-szer annyi idő alatt fog a test a lejtőn végig futni, mint ha az AC magasságról szabadon esnék. S minthogy az állandó erő hatása alatt nyert végsebesség az idővel arányos, azért a lejtőn eső test végsebessége B-nél n-szer akkora lesz, mint az első időszak végén.

Ha a test A-tól C-ig szabadon esik, úgy végsebessége az első időszak végén n-szer nagyobb lesz, mint a lejtőn, mert a mozdító erő n-szer nagyobb; minthogy azonban n-szer kevesebb idő alatt ér le, végsebessége C-nél n-szer kisebb lesz; a végsebesség tehát n-szer nagyobb és n-szer kisebb lesz, mint B-nél, minélfogva vele egyenlő.

A lejtőn eső test végsebessége tehát akkora, mint a mekkora a lejtő magasságáról leeső test-é.

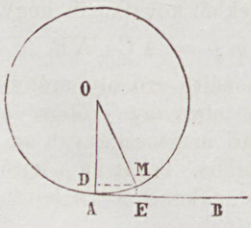
E tétel két oknál fogva bír különös érdekkel. Először, mert Galilei erre alapítá a szabad esésre vonatkozó kisérleteit; és másodszor, mert belőle látjuk, hogy, ha az erő súrlódás (melegfejlesztés) által nem gyengíttetik, az általa végzett munkával egyenlő mozgási erélyt létesíti akkor is, ha a test nem követi irányát. A nehézség által végzett munkát ugyanis a függélyes sülyedéssel kell mérnünk, és tételünk mondja, hogy a mozgási erély ugyanaz, ha a test ugyanazon mélységre sülyedt, követett légyen bármily ferde mozgást.

III. Az egyenletes körmozgás.

Az eddigiekből már tudjuk, hogy a test görbe vonalban nem mozoghat, ha mozgása alatt folytonosan erő nem működik rá. A kérdés már most az, hogy milyen erőnek kell a testre működni, hogy ez körben egyenletesen haladjon.

Christian Huygens (született 1624, meghalt 1695-ben), egyike a legkiválóbb természetbuvároknak, oldotta meg e feladatot. Azon föltételből indult ki, hogy görbében mozgó testnek mozgási iránya bizonyos pillanatban adva van a görbének, a test helyzetében húzott, érintője által. Ez azon mértani felfogáson alapszik, hogy a görbe elemi kis részecskéjének meghosszabbítása az érintőbe esik. A test tehát ezen elemi részecskében mozogván, ennek irányát megtartani igyekszik. Hogy a test körben mozogjon, oly erőnek kell ennélfogva rá működni, mely őtet a középpont felé annyira közelítse, a mennyire a kör eltér az érintőtől.

10. ábra



A középpont felé irányított erő nagyságának meghatározása már most csak mennyiségtani műtét. Képzeljük, hogy az A pont a 10-dik ábrában rajzolt körben mozog, úgy hogy minden igen kis t idő alatt az AM-el egyenlő ívet írja le. Ha a pontot magára hagynók, úgy ezen idő alatt az AM-mel egyenlő AE utat tenné meg; oly erőnek kell tehát még ezen AE irányú

egyenletes mozgáshoz járulni, mely a pontot ezen t idő alatt E-ből M-be hozná. Az alkalmazandó erő tehát EM-el arányos. Ezen EM meghatározására a t időt oly rövidnek veszszük fel, hogy EM-et OM meghosszabbítása helyett AO-val párhuzamosnak vehessük, és hogy AM-et a húrral cserélhessük fel; akkor

$$\overline{AM}^2 = 2R \cdot \overline{AD}$$

ha a kör sugara R. Vagy

$$\overline{AD} = \frac{\overline{AM}^2}{2R}$$

AD a keresett F erővel, és AM az adott v sebességgel arányos mennyiség; ennek folytán

$$F = \alpha \cdot \frac{v^2}{R}$$

hol α az arányosság tényezője.

Minthogy az erő a mozdított tömeg nagyságával arányos, írhatjuk — ha a test tömegét m-nek veszszük — hogy

$$F = \alpha' \frac{m v^2}{R}$$

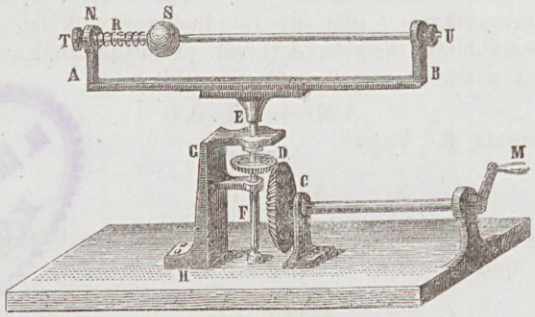
Azon erő tehát, mely a testet a körpályában megtartja, a középpont felé van irányítva, és egyenes arányban van a pont sebességének négyzetével, fordított arányban pedig a kör sugarával.

De, hogy a test ezen erő irányát ne kövesse, okvetetlenül vele egyenlő, ellenkező irányú erőnek is kell működni. Valahányszor tehát egy test körben mozog, két egyenlő, ellenkező irányú erőnek van kitéve, melyek egyike az irányváltozást létesíti, és másika a testet a középponttól eltávolítani igyekszik. A középpont felé tartó erő centripetal erőnek, és az ellenkező irányú centrifugal erőnek neveztetik.

A legközönségesebb példa e mozgásra a parittya mozgása. A forgás alatt a kéz fejti ki a centripetal erőt, a mennyiben a fonal végén lévő követ húzza, hogy a kört el ne hagyhassa. A húzás természetes következménye, hogy a fonal megfeszül; e feszülést csak úgy képzelhetjük el, hogy ha a fonalra ellenkező irányban is működik erő. Ha a követ forgás közben eleresztjük, úgy ez az érintő irányában mozog tovább.

A centripetal erő jelenlétét világosan láthatjuk, ha olyan testet hozunk forgásba, mely nincs a középponthoz erősítve. Ekkor a test tényleg eltávolodik a középponttól, mert a középpont felé tartó erő nincs meg; az érintő irányábani mozgás ugyanis más módon van megátolva. Például úgy, mint a 11-dik ábra mutatja. TU egy hengeralakú rézsodrony, melyre az s golyó könnyen mozoghatóan van illesztve. A mint a TABU négyszöget gyors forgásba hozzuk, a golyó a középponttól eltávolodni törekszik, minélfogva a közbe helyezett TS rugót összeszorítja. Az összeszorítás nagyságából, melyet a készüléken le lehet olvasni, következtethetünk a centripetal erő nagyságára. Ilyen kisérletek a fönnebb talált képletet igazolják.

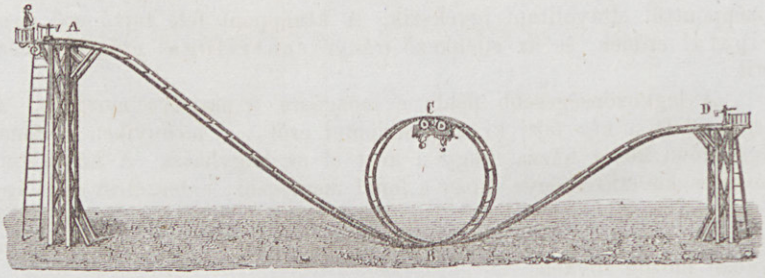
11. ábra.



Ha fonalra erősített edénybe vizet öntünk, és az edényt gyors forgásba hozzuk, úgy a víz körben kénytelen mozogni, anélkül, hogy a középpont felé tartó erő működnék rá; ekkor is nyilvánul a centripetal erő oly módon, hogy a vizet a nehézség ellenében az edény fenekéhez szorítja, úgy, hogy a víz nem folyik ki az edényből.

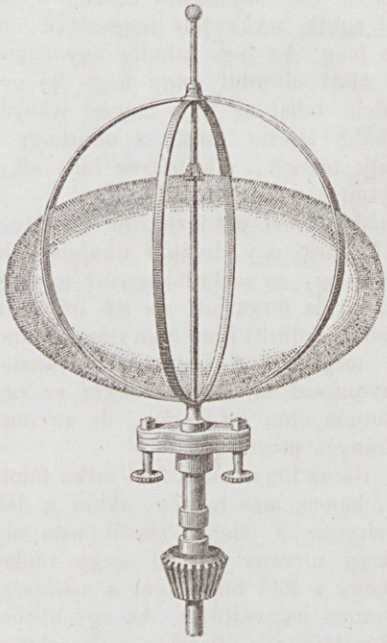
A 12. ábra BC-nél köralakulag meggörbített kocsiutat mutat. Az A-ból kiinduló kocsi B-ig oly sebességet nyer, hogy körmozgását a nehézség ellenében végzi; ezután felfut D-ig, hol egy kapocs visszapattanását megakadályozza.

12. ábra.



Ha egy gyorsan forgatható tengely egyik végéhez acélrugókat erősítünk, melyek a tengely másik végén szabadon mozogható tokban egyesülnek (13. ábra), akkor, ha ezek nyugvó állapotban gömbalakot mutatnak, a forgás alatt a gömb belapul és pedig annál nagyobb mértékben, minél sebesebb a forgás. Azon részek ugyanis, melyek nagyobb körben mozognak, tehát ugyanazon idő alatt nagyobb utat futnak be, nagyobb erővel távolodnak el a középponttól, mint a tengelyhez közel fekvők. E kisérlet azon nézet illustratiójául szolgálhat, hogy a föld belapult alakja, tengelye körüli forgásának következménye.

13. ábra.



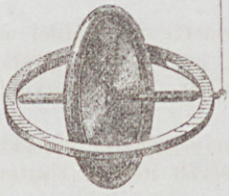
IV. A forgás síkjának megtartása.

Valamint minden egyenes vonalú mozgásban lévő test irányának megváltoztatására erő kell, melynek nagyságát a körben való mozgásnál ki is számítottuk : ép úgy a forgó test is csak erő behatása által változtatja meg a forgás síkját. A testnek minden része ugyanis a forgás alatt kört ír le, minélfogva minden pillanatban az érintő irányába eső sebességgel bír : tehát a forgás síkjával a mozgás irányát kell megváltoztatni.

A forgás síkjának megtartására való törekvést világosan látjuk abból, ha keskeny karikát élére állítva, gyors forgásba hozunk, ekkor a karika függélyes állását megtartja, holott azonnal elesik, ha forgatás nélkül állítjuk élére. Ugyanezt látjuk az ismeretes gyermek-játékszernél, a hajtócsigánál : ha nem forog, hegyére állítva, azonnal elesik; de ha gyorsan forog, nem esik el, ha tengelye ferde irányt is vesz fel.

Erős rézkarikában forgó korong (14. ábra) súlya ellenére megtartja vízszintes fekvését, ha a karikát egyik pontján felfüggesztjük. Az egész készülék súlya tehát nem elegendő a forgás síkjának észrevehető megváltoztatására.

14. ábra.



Egy, azonnal feltünő tünemény mutatkozik e kisérleteknél. A test saját tengelye körüli forgásán kivül, ezzel ellenkező forgásba is jön. A rézkorong például a felfüggesztő fonal körül kering. Poggendorff megmutatta, hogy e forgás a nehézség és a tangentialis sebességek összetételéből magyarázható meg.

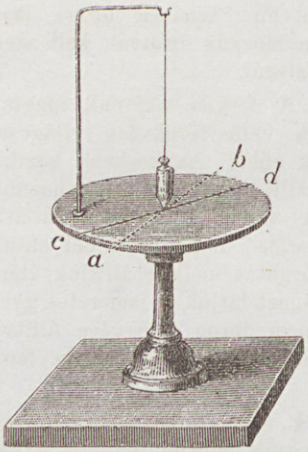
Ép úgy, mint a forgó testek forgási síkjukat, az inga lengési síkját igyekszik megtartani; minthogy itt is azon függélyes sík irányának megváltoztatására az ingarészecsek sebességeinek irányát kell megváltoztatni. Hogy ha tehát az ingára oldalt erő nem működik, akkor állandóan ugyanazon függélyes síkban végzi lengéseit.

Az inga e tulajdonságát a francia physikus Foucault a föld tengelye körüli forgásának közvetetlen bebizonyítására használta fel.

Képzeljünk egy ingát a föld egyik sarka fölé függesztve, és határozzuk meg a délkört, melyben leng. Az inga mindig ugyanazon síkban leng, de a délkör az inga alatt elfordul, úgy hogy 24 óra alatt egy teljes kört ír le. Az észlelő tehát az inga lengési irányát a délkör kijelölt irányától mindinkább eltérni látja, s minthogy a föld mozgását észre nem veszi, úgy látszik, mintha az inga síkja ellenkező irányban térne el, és folyton a napot követné.

E kísérletet igen egyszerű módon lehet utánozni, ha függélyes tengely körül forgatható asztalra (15. ábra) egy állványt alkalmazunk, melyen az inga függ. Dacára annak, hogy az asztallal együtt az inga állványát is forgatjuk, az ab irányban lengésnek indított inga ezen irányt állandóan megtartja. Ha az ab vonalat krétavonással kijelöltük, akkor ez egy kis forgás után cd-be jön, de az inga ab irányát megtartja.

15. ábra.



Ha az inga nem a föld sarka fölött függ, hanem más helyen, akkor a délkör eltérése a lengési síktól nem oly egyszerű törvény szerint megy végbe, minthogy a föld forgásával a nehézségerő iránya megváltozik. Az egyenlítőn, a hol a délkörök, illetőleg ezek érintői, egymással párhuzamosak, eltérés épen nem mutatkozik.

V. Az inga mozgása.

1. Egy pont körül forgathatóan megerősített súlyos testet ingának nevezünk. Egyszerűnek azonban oly ingát nevezünk, mely egy szilárd, de súlytalannak tekinthető fonalra függesztett súlyos pontból áll.

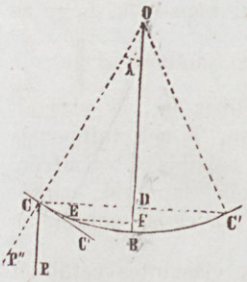
Már alább megismertük Galilei azon tapasztalatát, hogy az inga mindig oly magasságra emelkedik, mint a milyenről elbocsátva, lengésnek indítjuk.

Ugyancsak közvetetlen megfigyelés által ismerte fel Galilei az ingalengés azon törvényét, hogy ugyanazon inga, ha kitérései általában kicsinyek, ugyanazon idő alatt végzi lengéseit, akár nagyobb akár kisebb lengéseket tesz.

Az eddigiek alapján nem csak e törvény helyességéről győződhetünk meg, hanem a lengés tartamát minden kisérlet nélkül, tisztán elméleti következtetés által kiszámíthatjuk.

Képzeljük, hogy az OB ingát OC helyzetbe hoztuk (16. ábra); ott a C pont P súlya által függélyesen lefelé huzatik. Minthogy a fonal ellenállása által a pont ezen erő irányát nem követheti, a P

16. ábra.



erő kettős hatást fog szülni: egyrészt a fonalat feszíti, másrészt a pontot CB körpályának érintője, CC' irányában fogja mozgásba hozni. E hatások nagyságait megkapjuk, ha a P erőt e két irány szerint, CC' és CP'', két componensre bontjuk.

Ha a pálya különböző pontjain a parallellogrammokat megszerkesztjük, úgy látjuk, hogy az indító erő, az elhajlási szöggel A-val, minden pillanatban változik; annál kisebb lesz, minél közelebb jön a súlyos pont B-hez, és egészen megsemmisül, ha ezt elérte. Az indító erő tehát nem marad állandó. Ez az első esetünk, melyben változó erő által létesített mozgást tanulmányozunk.

Azt azonnal kimondhatjuk, hogy a mozgás sem egyenletes, sem egyenletesen gyorsuló nem lesz, hanem a pont bizonyos más törvény szerint gyorsuló mozgást fog követni. E törvény megkeresésére tegyük fel, hogy CB oly kis ív, hogy a $CB = a$ és az $EB = x$ hosszakat húrjaikkal lehet felcserélni. Akkor a mértanból tudjuk, hogy

$$BD = \frac{\overline{CB}^2}{2 \cdot BO} = \frac{a^2}{2l} \text{ és } BF = \frac{\overline{EB}^2}{2 \cdot BO} = \frac{x^2}{2l}$$

ha az inga hoszszát BO-t l-el jelöljük.

E két egyenletből nyerjük, hogy

$$DF = BD - BF = \frac{a^2 - x^2}{2l}$$

A CE-n eső testet úgy tekinthetjük, mintha ferde síkon esett volna le, mely alkalommal oly sebességet nyer, mintha DF magasságról szabadon esett volna.

A szabad-esés két képletéből: $s = \frac{1}{2} g t^2$ és $v = gt$ a sebességet az úttal fejezhetjük ki; ugyanis a másodikból $t = \frac{v}{g}$ értéket az elsőbe helyettesítve, nyerjük, hogy

$$s = \frac{1}{2} g \cdot \frac{v^2}{g^2} = \frac{v^2}{2g} \quad \text{és ebből}$$

$$v = \sqrt{2gs}$$

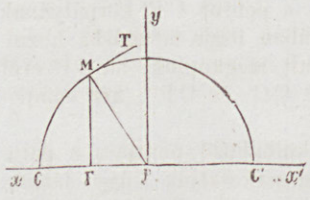
Jelen esetben az út DF, tehát ezen magasságról leeső test pályája végén $\sqrt{2g \cdot DF}$ sebességgel bír. Ezen sebességgel érkezik az inga súlyos pontja E-hez. Ha ebbe DF talált értékét helyettesítjük, úgy

$$v = \sqrt{\frac{g}{l}(a^2 - x^2)}$$

Hol g a szabadesés gyorsulása.

Ugyanezen változó sebességgel mozgó pontot nyerünk a következő módon. Egyenesítsük ki a CBC' ivet; az így nyert CC'

17. ábra.



(17. ábra) vonal hoszsza $2a$. E vonal fölött félkört vonván, képzeljük, hogy az M pont ezen CMC′ félkört $a\sqrt{\frac{g}{l}}$ állandó sebességgel futja be, és vizsgáljuk meg, hogy ekkor M-nek talppontja milyen sebességgel halad CC′ átmérőn. E sebesség nem egyéb, mint M érintőleges sebességének vízszintes componensse. Tehát az egyes pontokban az M pont állandó $MT = a\sqrt{\frac{g}{l}}$ sebességének vízszintes vetületét kell meghatároznunk. Ha MT-nek hajlását a vízszintessel α-val jelöljük, úgy vízszintes vetülete $MT \cdot \cos\alpha$. Ha M-ből az ME függélyt és az MB sugarat meghúzzuk, úgy $EMB = \alpha$; s minthogy $\cos EMB = \sin EBM$, azért E pontnak sebessége

$$v = a\sqrt{\frac{g}{l}} \cdot \sin EBM$$

De $$\sin EBM = \frac{EM}{BM}$$

és $$EM = \sqrt{BM^2 - EB^2}$$ tehát

$$v = a\sqrt{\frac{g}{l}} \cdot \frac{\sqrt{BM^2 - EB^2}}{BM}$$

vagy $$v = \sqrt{\frac{g}{l}(a^2 - x^2)}$$

M-nek talppontja tehát ugyanazon változó sebességgel halad CC′ egyenesen, mint a minővel az inga súlyos pontja a CBC′ ívet befutja. Ennélfogva az inga ugyanazon idő alatt végzi lengését, a mely alatt az E pont a 17. ábrában C-től C′-ig ér; világos pedig, hogy ez azon idő alatt történik, mely alatt az M pont $a\sqrt{\frac{g}{l}}$ sebességével befutja a félkört. Ezen T időt pedig nyerjük, ha a leírt utat, (a félkör kerületét) $a\pi$-t, az idő egységében leírt úttal $a\sqrt{\frac{g}{l}}$-el osztjuk. Tehát

$$T = \frac{a\pi}{a\sqrt{\frac{g}{l}}} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

vagyis, az inga lengésének tartamát akkép nyerjük, ha a hoszszából és a nehézség-okozta gyorsulásból képezett hányados négyzet-gyökét π-vel szorozzuk.

Ebből látjuk:

1. hogy a lengés tartama nem függ a kitérés nagyságától; ha a kitérések bizonyos határt meg nem haladnak (5—6. fokot);

2. hogy a lengés tartama az inga hoszszának négyzet-gyökével arányos; azaz ha az inga hoszsza 4-szer, 9-szer, 16-szor nagyobb, lengései 2-szer, 3-szor, 4-szer lassabbak.

2. **Az erély állandósága az ingánál.** — Az inga mozgásánál is, ép úgy mint a szabadesésnél és a lejtőn való esésnél, a mozgási és helyzeti erély egymásba való folytonos átalakulását látjuk.

Ha az inga pályája legmagasabb pontját elérte, oly állapotban van, mint a feldobott kő, ugyanis csupán helyzeti erélylyel bír. Pályája legmélyebb pontjában az egész helyzeti erély mozgási erélylyé alakult át; itt éri el legnagyobb sebességét, mely csak azon magasságtól függ, melyre az inga emeltetett.

Ha például C-ből esik le, akkor B-hez oly mozgási erélylyel ér, mely BD magasságnak megfelel, t. i. $m \,.\, g$ BD-vel (az erő mg szorozva az irányában leírt úttal). S minthogy $BD = \frac{a^2}{2l}$ azért $\frac{mga^2}{2l}$ adja azon erélymennyiséget, melylyel a test pályája minden pontján bír.

E pontban például mozgási erélye

$$\frac{1}{2} m \sqrt{\frac{g}{l}(a^2 - x^2)}^2 = \frac{mg}{2l}(a^2 - x^2)$$

helyzeti erélye pedig

$$mg\,FB = \frac{mgx^2}{2l}$$

Ha e kettőt összeadjuk, úgy valóban az $\frac{mga^2}{2l}$ összes erélyt nyerjük.

Látjuk tehát, hogy az erély összege itt is a pálya minden pontján állandó.

3. **Összetett inga.** — Természetes, hogy az előbb leírt egyszerű ingát előállítani lehetetlen. De bármily ingát alkalmazunk is, azt számtalan ingából összetettnek képzelhetjük, melyek közös felfüggesztési ponttal bírnak, és melyek az alkalmazott test egyes pontjaiban végződnek; külön-külön más és más idő alatt végeznék lengéseiket; de mivel összefüggnek, egyetemes mozgással, középértékü idő alatt végzik azt.

Mindig lehet képzelni olyan hosszúságú egyszerű ingát, mely valamely adott ingával egyidejüleg végzi lengéseit. Annak hoszszát sok esetben ki is lehet számítani.

Nehéz fémből készített kis golyó, lehetőleg könnyű fonalra függesztve, helyettesítheti az egyszerű ingát. Ezen ingának hoszsza a felfüggesztő ponttól a golyó középpontjáig mérendő. Ilyen ingákkal a talált képlet helyességét kisérletileg lehet bebizonyítani.

4. A nehézség-okozta gyorsulás nagyságának meghatározása. — A szabad-esés törvényeit ugyan már megismertük, láttuk, hogy e mozgás egyenletesen gyorsuló, de az egy másodpercnek megfelelő gyorsulást még nem tudtuk meghatározni. Miután a lejtőn- és a szabadesés közötti összefüggést felismertük, kiszámíthattuk volna ugyan a gyorsulást a lejtőn észlelt gyorsulásból, de itt a súrlódás tetemes és a mozgás pontos észlelése szerfölött nehéz. Sokkal biztosabb módszert nyujt az inga. Ugyanis, ha az inga lengésének tartamát megfigyeljük, és az inga hoszszát pontosan lemérjük, akkor a fönnebb talált képletből a szabadesés gyorsulását kiszámíthatjuk;

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{-ből}$$

$$g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$$

Ha gondosan meghatározzuk azon inga L hoszszát, mely egy másodperc alatt végzi lengéseit, akkor $T = 1$ lévén,

$$g = \pi^2 L$$

Ily módon találjuk, hogy

$$g = 9{\cdot}8 \text{ méter.}$$

Vagyis a szabadon eső test sebessége minden másodpercben 9·8 méterrel növekszik; az első másodpercben leírt út pedig 4·9 méter. t másodpercig eső test $4{\cdot}9 \, . \, t^2$ utat ír le.

Az egy gramm tömegü test továbbá 9·8 erőegységgel vonzatik a föld középpontja felé. ($P = mg$ képlet szerint.) A gramm mozgásmennyisége az esés első másodperce végén 9·8; és mozgási erélye $\frac{1}{2}(9{\cdot}8)^2$.

Newton az ingával tett pontos mérésekkel megmutatta azt is, hogy a másodpercü inga hoszsza és így a gyorsulás is, ugyanaz marad, bármily anyagból áll az inga súlyos golyója; a miből következik, hogy a nehézség minden testre egyformán hat.

5. g értékének változása. — Newton a föld tengelye körüli forgásából azt következtette, hogy a föld nem gömb-alakú, hanem a sarkoknál belapított ellipsoidalakkal bír. Ennek következtében a nehézség-erő a föld különböző helyein nem lehet egyenlő, hanem annál nagyobb, minél közelebb van a felület a föld középpontjához. Ennek bebizonyítására a föld legkülönbözőbb helyein megméretett a másodpercü inga hoszsza, és csakugyan azt találták, hogy ez az egyenlítőnél rövidebb, mint a sarkoknál, minek következtében ott g is kisebb ($L = \frac{g}{\pi^2}$ egyenletnél fogva).

A két szélső és a középső helyen talált értékek a következők:

földr. szélesség	mpercü inga hoszsza	g értéke
0°	0·99103 méter	9·78103 méter
45	0·99356 „	9·80606 „
90	0·99610 „	9·83109 „

A nehézség e változásának oka nem csak a föld alakjában rejlik, hanem a föld forgása által keletkező centripetal erőből is származik, mert a sebesség az egyenlítőnél nagyobb lévén, mint a sarkoknál, a centripetal erő is nagyobb; s így az egyenlítőnél nagyobb mértékben gyöngíti a nehézség-erőt, mint nagyobb földrajzi szélességü helyen.

A nehézség még a földtől való távolsággal is változik, úgy hogy magas hegyen g kisebb, mint a tenger szinén. Alább látni fogjuk, hogy a nehézség a föld középpontjától való távolság négyzetével arányos. E szerint, ha R a föld sugara, h a tenger szine fölötti magasság, és a gyorsulás a tenger szinén g, e h magasságban pedig g', akkor

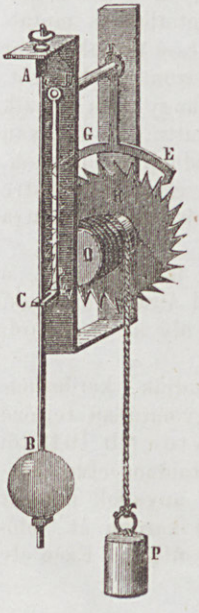
$$\frac{g'}{g} = \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

vagy ha a négyzetet kifejtjük, és az osztást végrehajtjuk, és azon tagokat elhanyagoljuk, melyekben R magasabb hatványai képezik a nevezőket, nyerjük g'-re megközelitőleg:

$$g' = g\left(1 - \frac{2h}{R}\right)$$

Ezen egyenletből viszont g-t lehet kiszámitani, ha g'-t bizonyos magasságon észleljük. Ezen átszámitást a gyorsulásnak a tenger szinére való reducálásnak nevezzük.

18. ábra.



6. **Az inga alkalmazása órákra.** — Huygens, ki a természettan majdnem minden ágát fontos találmányokkal gazdagította, volt az, a ki megmutatta, hogy az inga egyenlő idejü lengéseit miképen lehet az óra szabályozására felhasználni. E fölfedezését 1656-ban tette, és azóta az egész földön találjuk az inga-órákat, mint a legpontosabb időmérő-eszközt, alkalmazva.

A 18. ábrából látható a mód, mely szerint az ingaóra szabályozásra alkalmazható. A Q hengerre feltekert kötél végén egy P súly függ, mely a hengert forgatja. Az A-nál ruganyos lemezen függő inga lengés közben magával viszi a CD kart és ezzel együtt a vele összeköttetésben lévő GE ívet, melynek begörbített végei a hengerrel szilárdan összekötött kerék ferde fogaiba kapaszkodnak.

A mint az inga elindul, az E pont emelkedik és a kereket szabadon bocsátja, mi által ez forgásnak indul; de az ellenkező vége G ez alatt alásülyed, szintén a fogakba kapaszkodva a kereket megállítja. A következő ingásnál G elbocsátja a kereket, de E — most már a következő foggal találkozván — azt megállítja; úgy hogy minden

teljes lengésnél a kerék egy-egy foggal forog tovább. Ez által a henger minden lengésnél egyenlő szöggel halad előre, és így, ha vele mutató van összekötve, ez egyenlő időkben egyenlő utakat ír le. Látható továbbá, hogy a kerék fogai akkép állanak, hogy az E és G kampókat az elszabadulás pillanatában ellökik; ez által az inga új erőt nyervén, meg nem állhat; tehát az óra addig fogja mozgását folytatni, mig a P súly a fogaskereket forgatja.

ÖTÖDIK FEJEZET.

Az általános tömegvonzás.

1. A nehézségokozta mozgást körülményesen tanulmányoztuk anélkül, hogy e hatás mibenlétét fejtegettük volna. És épen ebben, a kutatás irányában, fekszik az ujabb természettudomány előnye a régi felett. Tiszta elmélkedés a fölött, hogy a kő miért esik a földre, legfölebb érdekes combinátiókra vezet, melyek gondolkodásunk törvényeinek megfelelnek, de melyek a természettől ép oly távol állnak, mint a serdülő ifju képzelt jövője áll az őszülő férfi komoly gondjaitól. — Ilynemü képzeletvezette okoskodások takarták el a természet legvilágosabban szóló tényeit, mig a kutatók a meg nem fejthető kérdéseket mellőzve, az egyes tények megállapitásán fáradoztak, türelmesen várván az időt, a midőn e tények a tárt kérdést felvilágositandják. Azonban gyakran úgy járunk, hogy a tények kellő megismerése után épen az elsőnek feltárt kérdés megfejthetetlennek mutatkozik. — A kő miért esik a földre, azt ép oly kevéssé tudjuk, mint tudták 2000 év előtt, de azon ok, vagy mondjuk azon erő hatását, mely ezt létesiti, megismertük. Most már tudjuk, hogy nem létezik könnyü és nehéz test, mint Aristoteles még állithatta, t. i. olyan testek, melyek magukra hagyva a földtől eltávolodnak és olyanok, melyek a földhöz közelednek. Tudjuk, hogy a nehézség minden testre egyaránt hat, és hogy az előbbi különbség, mely Aristotelest tévútra vezette, csak a levegő jelenlétének tudható be.

Minthogy tehát minden test igyekszik a föld felé mozogni, e törekvést akkép fejezhetjük ki, hogy a testek a föld által vonzatnak, vagy, hogy a föld vonzza a rajta lévő testeket, ez oly szólásmód, melylyel a tapasztalt tényt kellően kifejezzük.

Ha már e vonzás mibenlétét elképzelni nem tudjuk, kérdezhetjük: vajjon a föld sajátságos alkotása, vagy a gyomrában rejtőző anyagok létesitik-e e rejtélyes hatást. E kérdést Newton (élt 1642-től 1726-ig) vetette fel, és megoldása által egy új általános elvet állitott fel, melylyel nem csak a bennünket környező anyagok hatását állapitja meg, hanem vele az egész világegyetemet karolja át, előirván a végtelen távolságokban száguldozó csillagok útjait. Ezen elv a következő:

Minden test vonzza a másikat. Az égi testek, valamint a bennünket környező testek tömegüktől és távolságuktól függő erővel vonzzák egymást, és a nehézség csak ezen általános tulajdonság következménye.

Nézzük, hogy mikép győződhetünk meg ezen állítás igazságáról.

I. Kepler törvényei.

Newton nagyszerü elméletét előkészítették: Galilei, a mozgás alaptörvényeinek megállapitása által, Huygens, a körmozgás elmélete — és Kepler a bolygók valódi mozgásainak felismerése által. Hogy tehát mi is kellőleg előkészüljünk ezen elméletnek legalább vázlatos megismerésére, Kepler fölfedezését kell megismernünk.

Kepler (élt 1571-től 1631-ig) évek hosszú során át követett megfigyeléseiből kicombinálta a bolygók mozgásait az állónak képzelt nap körül. Eredményeit a következő három törvénybe foglalta:

1) A bolygók által leírt görbék síkgörbék, és a napot a bolygóval összekötő egyenes egyenlő időkben egyenlő területeket súrol.

2) A bolygók kerülékekben mozognak, melyek egyik gyüjtőpontjában a nap van.

3) Azon idők négyzetei, melyek alatt különböző bolygók pályáikat befutják, egyenes arányban vannak pályáik nagy tengelyeinek köbével.

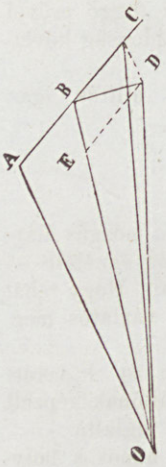
II. Az égi testek vonzása.

Newton, feltételezvén, hogy az égi testek ezen pályáikban kölcsönös vonzásuk által tartatnak meg, kiszámitotta hogy mekkorának kell e vonzásnak lennie.

Az első pillanatra úgy látszik, mintha a kölcsönös vonzás következtében a bolygóknak sokkal bonyolódottabb mozgást kellene követniök, mint a milyen a Kepler által megállapított mozgás, minthogy mindegyik bolygó valamennyi csillag vonzásának van kitéve. Azonban a képzelt vonzás oly tulajdonságunak mutatkozik, hogy a távolsággal gyorsan fogy; az álló csillagok vagyis inkább a naprendszerek oly távolságban vannak egymástól, hogy egymásra gyakorolt hatásuk a naprendszer egyes részei közt működő hatásokhoz elenyésző csekély. Másrészt a napnak, mely hasonlíthatatlanul nagyobb a bolygóknál, oly túlnyomó hatást kell tulajdonitanunk a rendszerben, hogy egyedüli hatása tartja meg a bolygókat pályáikban; a többi bolygó e pályákat csak annyiban változtathatja, a mennyiben a föld alakját a kimagasló hegységek változtatják meg. E szerint a bolygókat egymástól független testeknek kell tekintenünk, melyek oly törvények szerint mozognak, mint ha csak a nap hatásának volnának kitéve.

Képzeljük már most, hogy a 19. ábrában O a nap és A egy bolygó középpontja. Ha az utóbbi valamely igen rövid idő alatt az

19. ábra.



AB ívet írja le, akkor a rákövetkező egyenlő időszakban — ha erő nem működik rá — az AB-vel egyenlő BC utat irná le AB irányában. Minthogy ez nem történik, hanem BC helyett a BD ívet írja le, következtetjük, hogy erő hatásának van kitéve, mely erő irányát a következő módon határozhatjuk meg.

Kepler első törvénye szerint

$$OBD = OAB$$

továbbá $OAB = OBC$, mert, ha e két háromszögben AB-t és BC-t veszszük alapoknak, akkor O-ból a közös irányukra bocsátott merőleges a két háromszög közös magassága.

Minthogy tehát OBC háromszög egyenlő OBD-vel, és közös alappal bírnak, azért C és D csúcsai egy, az OB-hez párhuzamos CD vonalban fekszenek; és ha D-ből BC-hez párhuzamost húzunk E-ig, akkor az így származott EBCD négyszög paralellogramm leend. BD sebességet tehát a BC és BE sebességek eredőjeül tekinthetjük, a miből látjuk, hogy az eredeti BC sebességhez még oly erőnek kell járulni, mely a fölvett idő alatt a bolygót B-ből E-be hozná. Azon erő tehát, mely a bolygókat pályáikban megtartja, a nap középpontja felé tart.

Az erő nagyságának meghatározására fölvehetjük, hogy a bolygók körökben mozognak, mivel pályái tényleg csak igen kevéssé különböznek köröktől. E fölvétellel a napot a kör középpontjába kell helyeznünk, és a sugár által súrolt területek egyenlősége miatt, az íveknek egyenlőknek kell lenniök: vagyis a sebesség állandó.

Ez által az előbb tárgyalt egyenletes körmozgás esetére tértünk vissza, a hol láttuk, hogy egy m tömegü test, mely R sugarú kört v sebességgel fut át, oly F erővel igyekszik eltávolodni a középponttól, mely a következő képlet által van meghatározva:

$$F = \alpha' \frac{mv^2}{R}$$

Tehát a napnak is épen ekkora erővel kell vonzzania a bolygót, hogy ez a körben maradjon. Igy jövünk azon vonzás kifejezésére, melyet az égi testek egymásra gyakorolnak.

F képletébe a sebesség helyett behozhatjuk azon T időt, mely alatt a bolygó pályáját átfutja. Ugyanis

az út, a kör kerülete, $2\pi R = Tv$ az idő és seb. szorz.

$$\text{miből} \quad T = \frac{2\pi R}{v}$$

Ezt helyettesítve, nyerjük F-re a következő kifejezést:

$$F = \alpha' \frac{4\pi^2 R m}{T^2}$$

Kepler 3-dik törvénye szerint pedig $\frac{T^2}{R^3}$ bolygókra állandó mennyiség, ha ez állandót K-val jelöljük, úgy T^2 helyett KR^3-t tehetünk, mi által

$$F = \alpha' \cdot \frac{4\pi^2}{K} \cdot \frac{m}{R^2}$$

vagy az állandókat az arányossági tényezőbe foglalva :

$$F = \beta \cdot \frac{m}{R^2}$$

Vagyis azon erő, melylyel a nap a bolygókat vonzza, a távolság négyzetével fordított, a bolygók tömegeivel pedig egyenes arányban van.

Láttuk tehát, hogy e vonzás a Kepler-féle törvények következménye, úgy hogy kényszerítve vagyunk fölvenni, hogy ha eredetileg a föld és nap mozdulatlanul állottak volna egymással szemben, akkor mindkét égi test, kölcsönös vonzásukat követvén, találkozásukig közeledtek volna egymáshoz. De ha a föld a két test középpontját összekötő egyenes irányától eltérő sebességgel birt, akkor e sebesség és a vonzás együttes hatása következtében, görbében kellett mozognia. — Most már viszont kérdezhetjük, hogy e fölvétel mellett milyen görbében kellene a földnek mozognia? És feleletül a számitás azt mondja, hogy a Kepler-féle törvények szerint kellene mozognia. Ugyanis, ha két test a fönt kifejezett erővel vonzza egymást, és ezek egyike az őket összekötő vonal irányától eltérő sebességgel bir, akkor az mindig kúpszeletben mozog, melynek egyik gyüjtőpontjában a nyugvó test van; a sebesség és a vonzás aránya szerint a kúpszelet kör, kerülék, hyperbola vagy parabola.

III. A nehézség és az égi testek vonzásának azonossága.

Newton a következő módon bizonyította be, hogy azon ok, melynél fogva a testek a földre esnek, azonos az égi testek vonzásával.

A föld és a hold középpontjainak távola 60-szor mulja fölül a föld sugarát. Csillagászati értelemben e távolság igen csekély, úgy, hogy a föld sokkal nagyobb vonzást gyakorol a holdra, mint a nap; olyannyira, hogy ez utóbbit az első mellett teljesen el lehet hanyagolni. Ebből következik, hogy a holdnak a nyugvásban képzelt föld körül kerülékben kell mozognia, úgy mint ha csupán a föld hatásának volna kitéve, a mit az észleletek csakugyan bizonyítanak. Tegyük fel, hogy a föld és a hold is tökéletesen gömbalakuak, és hogy az utóbbi körben mozog, mely fölvételek jelentékeny hibát nem okozhatnak.

A nehézség előidézte-gyorsulás g, eredménye a föld vonzásának egy, a föld felületén, tehát a középponttól r távolságban lévő tömegre. Feltételezvén egyelőre, hogy a nehézség ép úgy, mint az égi testek vonzása, a távolság négyzetével fogy, a nehézség-erő a hold

távolságában már nem fog g gyorsulást létesiteni, hanem $\frac{g}{60^2}$-t, minthogy a hold 60-szor van távolabb a föld középpontjától, mint a föld felülete.

A föld ennélfogva a holdat oly erővel vonzzaná, mely másodpercenként $\frac{g}{60^2}$ gyorsulást létesit. Hogyan győződhetünk meg arról, hogy csakugyan ezen erő tartja meg a holdat pályájában? Ha ezen erő épen elegendő arra, hogy a holdat pályájába terelje, dacára annak, hogy minden pillanatban érintője irányában van sebessége, akkor állításunk igazolva lesz.

Azon erő, melylyel a hold a földtől eltávolodni törekszik, vagy a mi egyre megy, melynek a holdra pályája középpontja felé működni kell, hogy az pályájában megmaradjon, másodpercenként $\frac{4\pi^2}{T^2}$ R gyorsulást létesit.

Ha tehát

$$\frac{g}{60^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot R$$

akkor állításunk helyes.

És valóban, ha az értékeket $R = 60r$-t és T-t, a hold földkörüli mozgásának tartamát, 27 nap, 7 óra, 43 perc és 11·5 másodpercet helyettesitjük, akkor ezen egyenletből g 9·74 méternek jön ki, a mi, tekintetbe véve a fönnebbi elhanyagolásokat, a közvetetlen kisérletek eredményével elegendő pontossággal egyez meg.

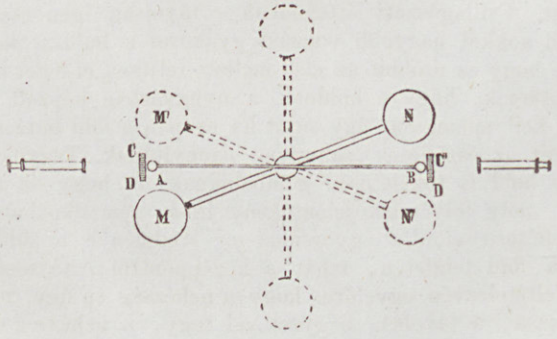
Ebből látjuk, hogy a holdat pályáján a nehézség-erő tartja meg.

IV. Minden test vonzza a másikat.

Cavendish közvetetlen kisérletek által megmutatta, hogy a földi testek is vonzzák egymást. Kisérlete a következő :

Egy, lehetőleg könnyű és egyenletes fapálca AB (20. ábra)

20. ábra.



középpontján vékony fémfonalra erősítve, zárt szoba mennyezetére van felfüggesztve. E pálca mindkét végén egy-egy, tökéletesen egyenlő súlyú golyó van alkalmazva, melyek osztályzott csontlappal CD és C'D' vannak ellátva. Hogy légáramlásoktól ment legyen, e mérlegrúd szekrénybe van zárva, de a CD és C'D' osztályzatok tükörüvegen át észlelhetők. Ezek a szoba falaiba szilárdan beleillesztett szálkeresztes távcsövekkel vizsgáltatnak. Igy a rúd legkisebb mozgását kivülről meg lehet figyelni.

A szekrényben továbbá két nagy ólomgolyó M és N, melyek mindegyike 158 kilogrammot nyomott, kivülről forgatható lécre volt erősítve. Ha e lécet AB-re merőlegesen állítjuk, akkor a golyók összes hatása semmi; e helyzet képezi a kiinduló pontot. Ezután a lécet MN helyzetbe hozzuk, melyben az M golyó A-t és N B-t vonzza, minek következtében a mérlegrúd elhajlik, mig a fonal ruganyossága a vonzást ellensúlyozza. Erre a kisérletet ellenkező irányban ismételjük, a golyókat M'N' helyzetbe hozzuk, és a két eltérés középértékét vesszük. Külön kisérletek által meghatározzuk a fonal ruganyosságát, melylyel a bizonyos mértékben eltérített rudat eredeti helyzetébe igyekszik visszahozni. Ebből és az észlelt eltérésből azon vonzás nagyságára következtethetünk, melyet az M és N golyók A és B-re bizonyos távolságból gyakorolnak.

E kisérletek mutatják, hogy a vonzás a távolság négyzetével fordított és a tömeggel egyenes arányban van.

Mondhatjuk tehát, hogy a testek azon általános tulajdonsága, mely szerint egymást vonzzák, tartja meg az égi testeket pályáiban és idézi elő a testek esését a földön.

MÁSODIK SZAKASZ.

A szilárd testek mechanikája.

ELSŐ FEJEZET.

A testek szerkezete. A szilárd testek ruganyossága.

I. A testek szerkezete.

A mint a természet tüneményei a gondolkodás szétaprító törekvéseinek alá lőnek vetve, egyszersmind e tünemények székhelyének — az anyagnak — mivoltára vonatkozó vélemények is keletkeztek.

A legrégibb görög bölcsészek a tüzet, vizet és a levegőt mondották valamennyi anyag eredetének, és e három ősanyagot elemeknek nevezték.

Pythagoras (született 570. év körül Kr. e.) már csak víz és porból alkotta világát. Az első, ki a mai tudományos felfogáshoz közeledett Herakleides (Platon és Aristoteles tanítványa) volt; ő valamennyi tüneményt csak változásnak, átalakulásnak tekintett, és innen azon nevezetes alaptételre lőn vezetve, mely a mai természettudománynak úgy szólván sarkkövét képezi, t. i. hogy „minden mozgás.“

Az anyag szerkezetére jelenleg elfogadott elmélet szintén görög eredetü. Demokritos, az ókor egyik leghíresebb bölcsésze (körülbelül 400 évvel Kr. e.) volt az első, ki az anyagot véghetetlen kicsiny, oszthatatlan részekből állónak mondotta.

Megjegyzendő, hogy a hypothesis szó jelenleg más jelentőségü, mint volt a felsorolt bölcsészek idejében. Akkoriban közvetetlen okoskodás által akarták az igazságot földeriteni, jelenleg pedig a hypothesis által az ismeretes tüneményeket akarjuk összekapcsolni, és a hypothesist csak annyiban tartjuk valószinűnek, a mennyiben belőle az ismeretes tényeket ki lehet magyarázni. — Az anyag szerkezetére is olyan hypothesist fogunk alkotni, melyre az eddig ismert tények szükségkép vezetnek.

E hypothesis a következő: Az anyag igen kis oszthatatlan részekből van alkotva, melyek az oszthatóság határát képezik. Az anyag e legkisebb részecsei atomoknak, parányoknak neveztetnek.

Minden test atomja határozott súlylyal bir, mely azon test atomsúly-ának neveztetik. Ebből magyarázható a vegysúlyok törvényének első része, hogy t. i. az elemek határozott állandó súlyviszonyok szerint egyesülnek. E törvény második része — mely szerint az elemek nem csak határozott súlyviszonyok, hanem ezek egyszerü többesei szerint is egyesülnek — arra vezet, hogy feltételezzük, miszerint az atomok a testben csoportozatokat képeznek; ezeket molekülöknek, tömecseknek nevezzük.

Az atomok, valamint a molekülök egymástól való távolsága sokkal nagyobb, mint nagyságuk.

A molekülökben az atomok sokkal szorosabb összefüggésben vannak, mint a molekülök egymásközt; úgy, hogy ezek kölcsönös fekvéseiket megváltoztathatják anélkül, hogy a test lényegesen megváltoznék. De a mint a molekülök megváltoznak az atomok új csoportosulása által, a test lényegesen (chemiailag) megváltozik.

E szerint valamely összetett testet például konyhasót ekkép kell képzelni magunknak: natrium- és chlor-atomok szoros kapcsolatban molekülöket képeznek, e molekülök igen nagy távolságban vannak egymástól az atomoknak egymástól való távolságához képest. Ha tehát konyhasót a lehető legszélsőbb határig kisebb részekre osztunk, úgy azon határhoz kell érnünk, melynél egy molekült elválasztunk a többitől. Ha a szétbontást (képzeletben) tovább folytatjuk, úgy már a chlor-atomokat választjuk el a natrium-atomoktól, itt tehát már chemiai változás áll be. Azért azt mondjuk, hogy a molekülök a testek olyan részecsei, melyek csak chemiai hatás által bonthatók kisebb részekre; az atomok pedig semmi eddig ismert módon meg nem változtathatók.

Hogy az egymást nem érintő atomok molekülöket és ezek testeket alkothassanak, bizonyos egymáshoz való közeledési törekvést, vonzást kell nekik tulajdonítanunk. Igen valószinű, hogy ezen közeledési törekvés azonos az általános tömegvonzással, azonban a távolság négyzetével való változást a mérhetetlen távolságoknál fogva meghatározni nem lehet. A tömecsek és atomok ezen összetartó erejét cohaesionak nevezzük.

Minthogy a molekülök dacára a vonzásnak nem érintkeznek, egy másik erőt is kell feltételeznünk, mely azt ellensúlyozza. Ezen erő magyarázata kapcsolatban van a meleg mivoltának magyarázatával; mert a melegség, mint látni fogjuk, nem egyéb, mint a test részecseinek mozgása. S minthogy minden általunk ismert körülményben a testek bizonyos melegmennyiséggel birnak, azért részecsei folytonos mozgásban vannak. A molekülök és atomok ezen folytonos mozgása gátolja meg érintkezésüket.

E szerint a test a világegyetemhez egészen hasonlóan volna alkotva; a naprendszer analog a molekülléi és az egyes csillagok az atomokkal. Valamint a csillagok összetartó erejök és mozgásuk által maradnak meg kölcsönös helyzeteikben, úgy az atomok mozgása is gátolja érintkezésüket.

A hasonlatot még tovább kell terjesztenünk; ugyanis valamint a csillagok közötti ürt betöltve kell képzelnünk egy igen finom anyaggal, az úgynevezett aetherrel, hogy a fény hozzánk érkezését felfoghassuk, úgy az atomok közötti ürt is aetherrel kell betöltve képzelnünk, hogy a fény és a sugárzó hő tüneményeit megmagyarázhassuk.

II. A halmazállapotok.

A testeknek három állapotát, a szilárd, folyós és légnemü állapotát ismerjük. Szilárd testek azok, melyek önálló alakkal bírnak, mely alakot csak bizonyos erő által változtathatjuk meg. A folyós testek önálló alakkal nem bírnak, hanem azon edény alakját veszik fel, melyben tartjuk, felső határuk nyugvó állapotban vízszintes. A légnemü testek önálló térfogattal sem bírnak, hanem mindig betöltik azon edény térfogatát, melyben tartjuk. Minthogy ezen állapotok a test részecseinek miképi elhelyezkedésétől, vagyis ezek halmazától függnek, a testek halmazállapotainak neveztetnek. A molekülök halmazát a különböző állapotokban ekkép képzeljük magunknak:

A szilárd halmaznál a cohaesio, a molekülöket összetartó erő, oly nagy, hogy a molekülök csak bizonyos egyensúlyi helyzet körül mozoghatnak, melyet külerő behatása nélkül nem hagyhatnak el. Ha külerő, mint például megrázkodás, hat a testre, úgy a molekülök állandóan maradhatnak meg más helyzetben.

A folyós testek moleküljei már nem függnek oly szorosan össze, hanem helyzeteiket igen könnyen elhagyhatják, tovább gördülhetnek, és minden helyzetben ugyanazon viszonyban vannak szomszéd-moleküljeikhez, mint a milyenben az előbbiekhez voltak. A molekülök összetartása oly csekély, hogy mozgásuk által keletkező eltávolodási törekvésük következtében a felületen folytonosan elválnak a többi folyadéktól; a folyadék belsejében való elválást csak külső nyomás, rendesen a légnyomás akadályozza.

Légnemü állapotban végre a molekülök mozgásuk által oly távolba jöttek egymástól, hogy kölcsönös vonzásuk körét elhagyták, és a közönséges mozgási törvények szerint egyenes vonalú mozgást követnek. Ha két molekül összeütközik, ugyanazon mohósággal válik szét, mint a melylyel összeütközött.

III. Sűrűség és Fajsúly.

Tömeg alatt értjük a testben foglalt molekülök összességét. Ha a molekülök az egész testben egyenletesen vannak elterjedve, úgy a test tömege arányos térfogatával. Fönnebb láttuk, hogy a testek tömegeit súlyaik által hasonlíthatjuk össze, s minthogy különböző testek egyenlő térfogatainak súlya különböző, azért a bennfoglalt anyagmennyiség is más. Azon testet, melynek ugyanazon térfogatában több anyag van, azt sűrűbbnek mondjuk a másiknál. A sűrűség összehasonlítására a testeknek térfogategységeiben foglalt anyagmennyiségeket

viszonyítjuk egymáshoz. Tehát sűrűségnek nevezhetjük a test térfogategységében foglalt anyagmennyiséget.

A térfogategységben foglalt anyagmennyiségeket az illető súlyok által mérjük, ezen súlyokat a testek fajsúlyainak nevezzük. A fajsúly tehát a test térfogategységének súlya.

Világos, hogy a testek fajsúlyai arányosak sűrűségeikkel; és pedig ép oly arányban vannak, mint valamely tömeg súlyával.

E szerint ha P valamely V térfogatú test súlya, akkor a térfogategység súlya adja meg annak fajsúlyát s-t, vagyis

$$s = \frac{P}{V};$$

ha a V térfogatba foglalt tömegmennyiséget M-mel jelöljük, és a sűrűséget d-vel, úgy

$$d = \frac{M}{V}$$

S minthogy $P = M \cdot g$, azért

$$d = \frac{P}{V} \cdot \frac{1}{g}$$

s így $d = s \cdot \frac{1}{g}$ vagy $s = d \cdot g$.

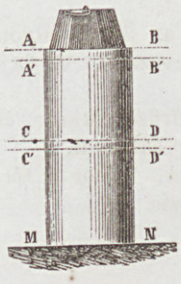
Egy köbcentiméter 4 celsiusfoku tiszta víznek tömege 1 gramm. Ebből következik, hogy a 4 fokú víznek V térfogatát köbcentiméterekben ugyanazon szám adja meg, mint a mely által M tömegét grammokban fejezzük ki. Tehát ezen esetben $\frac{M}{V} = 1$, vagyis a víz sűrűsége egyenlő az egységgel. Legyen valamely testnek ugyancsak V térfogatában foglalt tömege M', úgy ennek sűrűsége $d = \frac{M'}{V}$; az előbbi egyenlet szerint V-t a víztömeggel M-mel helyettesíthetjük, tehát $d = \frac{M'}{M}$; vagyis valamely test sűrűsége egyenlő saját tömegének és az ugyanazon térfogatú víztömeg arányával.

IV. A ruganyosság törvényei szilárd testekben.

1. Valahányszor szilárd testet összenyomunk, ennek tömecsei közelednek egymáshoz; de a mint a nyomás megszünt, ismét elfoglalják eredeti helyzeteiket és a test előbbi térfogatát nyeri vissza. Ha pedig a testet kiterjesztjük, vagyis molekuljeit egymástól eltávolítjuk, akkor kölcsönös vonzásuk azokat ismét eredeti helyzeteikbe igyekszik visszatériteni. A testek molekuljei közt ekkép működő erőket ruganyos erőknek nevezzük, s hatásuk némely eredményeivel a következőkben fogunk megismerkedni.

Tegyük fel például, hogy egy henger tökéletesen szilárd alapon áll. Az egész hengert, egymáshoz igen közel fekvő, vízszintes lapokból AB, A'B' (21. ábra) képzelhetjük összetéve. Terheljük meg AB-t

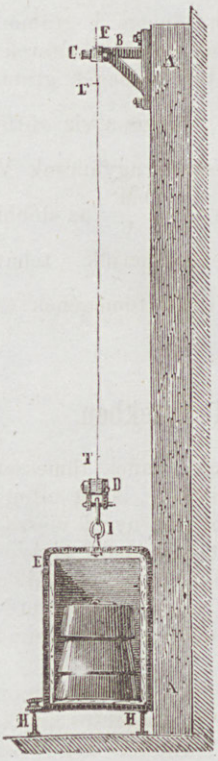
21. ábra.



valamely igen nagy súlylyal, akkor ez mindenekelőtt AB-t A'B'-felé fogja nyomni és a közöttük lévő hézagot kisebbíteni. Továbbá ott oly erő fejlődik ki, mely egyrészt a P súlyt ellensúlyozza, és másrészt épen akkora erővel nyomja a legközelebbi lapot, mintha a súly közvetetlenül A'B'-re volna helyezve. Oly módon a nyomás lapról lapra tovább fejlődik egész a legalsó lapig, melyen a henger áll. Ez által valamennyi lapnak egyenlő mértékben kell közelednie egymáshoz; következéskép az egész henger megrövidül, és pedig annál nagyobb mértékben, minél több rétegből van összetéve, vagyis minél hosszabb. E közeledés két-két réteg CD és C'D' között, a súlylyal egyenlő ellenhatást létesít.

Ha a nyomott henger helyett valamely lécet erősítünk meg egyik végénél, és a másiknál húzzuk, akkor az egyes rétegek kitágulnak. Ily esetben az egyensúly akkor áll helyre, ha a rétegek közötti vonzó erő ellensúlyozza a végén működő erőt. E szerint a testre gyakorolt nyomás és húzás annak megrövidülését s illetőleg meghosszabbodását eszközli; de egyidejüleg a nyomott vagy húzott testnek két-két tömecsrétege között mindannyiszor egy, a nyomás- vagy húzással egyenlő ellenhatás létesül. A mint a külső erők hatni megszünnek, a belső erők a részecseket eredeti helyzeteikbe igyekszenek visszahozni. A testek e törekvéseit ruganyosságnak nevezzük. Ennek következtében jőhetnek a testek oly lengésekbe, melyek folytán hangot létesítenek. Ez vezeti tovább az erőket a gépekben és korlátolja az ott alkalmazott testek gyors alakváltozását.

22. ábra.



2. Ruganyosság a húzásnál. — A húzás hatásának megvizsgálására A A' vasállványt használjuk (22. ábra), mely az épület egyik falához van erősítve, és C fogóval végződik, melybe a megvizsgálandó rúd egyik végét szorítjuk, míg másik végére hasonló módon erős vasszekrény EHH van erősítve, melybe a húzást eszközlendő súlyok tétetnek. Először csak annyi súlyt rakunk rá, hogy a rúd kiegyenesedjék, s csak az így nyert hosszuságból indulunk ki. Ezután mindinkább több súlylyal terheljük meg azt, és megmérjük a hatást, t. i. a meghosszabbodást, a T és T jelek közt.

Ilyen kisérletek mutatják, hogy a meghosszabbodás, E, arányos:

1) a teherrel, P-vel; 2) a rúd hoszszával l-lel; és hogy megfordított arányban van annak keresztmetszetével q-val. E törvények tehát a következő képletbe foglalhatók össze:

$$E = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{Pl}{q}$$

hol $\frac{1}{\alpha}$ az aránylagosság tényezője, mely az anyag minőségétől függ; és a keresztszelvény egységével biró rúd hosszegységének azon meghosszabbodását jelöli, melyet a súly egysége létesít. Ezt a ruganyosság tényezőjének szokás nevezni.

A következő táblázatban össze van állítva néhány fémnek ruganyossági tényezője, különböző mérsékletnél; súlyegységnek a kilogrammnak súlya, hosszegységnek a méter és a keresztmetszet egységének a négyszög-milliméter vétetett fel.

A ruganyosság tényezői:

	15—20°	100°	200°
Ólom	1727	1630	—
Arany	5584	5408	5482
Ezüst	7140	7274	6374
Réz	10519	9827	7862
Platina	15518	14178	12964
Vas	20794	21877	17700
Öntött acél . . .	19561	19014	17926
Angol acél . . .	17278	21292	19278

Ha valamely test minden oldalról egyenletes nyomásnak van kitéve, úgy, hogy a felület-egységre P nyomás esik, akkor térfogata β-val kisebbedik, melynek értéke

$$\beta = C \cdot V \cdot P$$

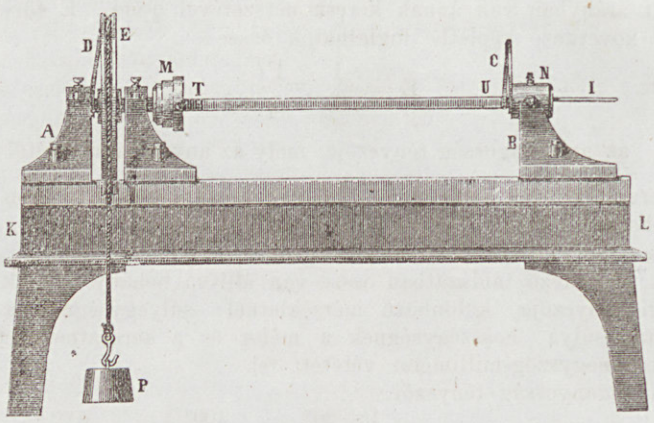
hol C a test összenyomhatóságának tényezője, melyet Wertheim szerint ugyanazon szám ad meg, mint az előbb $\frac{1}{\alpha}$-val jelölt tényezőt, mely csupán a hosszváltozásra vonatkozik.

3. **Ruganyosság a csavarásnál.** — Ha valamely fonalat, vagy ruganyos rudat egyik végén megerősítvén, a másikon csavarunk, akkor a fonalban ellenkező irányu erő érvényesül, mely a forgatott szöggel addig nő, mig a forgató erővel egyensúlyt tart.

A ruganyosság e nemének törvényei, Wertheim készülékével tanulmányozhatók (23. ábra). Öntött vasból készült padon két állvány van alkalmazva, melyek egyike, B ide-oda tolható és a megvizsgálandó rúd egyik végének megerősítésére szolgál; másik vége T, az M tengelybe van szorítva, mely E csigával függélyes síkban forgatható.

A csigát egy, a P súly által megfeszített kötél veszi körül. E súly, a csiga sugarának végén működvén, képezi a csavaró erőt; ez a rudat egy w szöggel forgatja, melyet a D mutató segélyével le lehet olvasni.

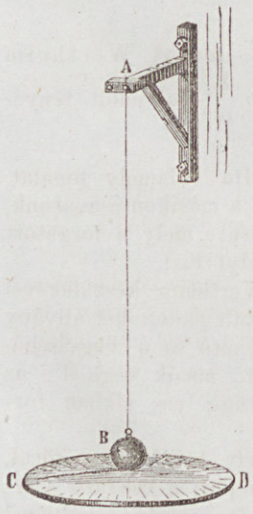
23. ábra.



Megváltoztatván a csavaró erőt, valamint a rúd méreteit, azt találták, hogy a w szög arányos: 1) egy bizonyos anyagra állandó tényezővel, T, mely azon anyag minőségétől függ; 2) a forgató erővel, vagyis a P súlylyal; 3) a rúd hoszszával; és végre fordított arányban van a henger-alakú rúd sugarának negyedik hatványával. E törvényeket a következő képletbe foglalhatjuk:

$$w = \mathrm{T} \cdot \frac{\mathrm{P} \cdot l}{r^4}.$$

24. ábra.

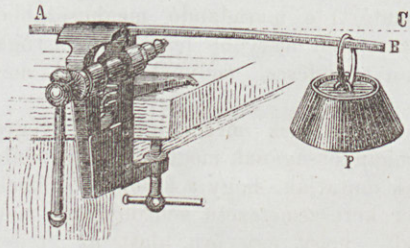


Az imént leírt módszer nem alkalmazható finom fonalakra. Ezekre Coulomb módszerét használjuk, mely abban áll, hogy a megvizsgálandó AB fonalra (24. ábra) B súlyt függesztünk, mely mutatóval van állítva. Ha a fonalat w szöggel fordítjuk el, ez ismét eredeti helyzetébe törekszik visszajönni; de a mint ezt elérte, sebességénél fogva a másik oldalra tér ki, a honnan ismét visszasiet, s i. t. E lengések a surlódás és légellentállás következtében mindinkább kisebbednek. A kisérletek azt mutatják, hogy a lengés ideje teljesen független a lengés táglatától.

Ismervén a lengési időt, a csavaró erőt ki lehet számítani; a midőn a fent talált képletet itt is igazolva találjuk.

4. **Ruganyosság a hajlításnál.** — Ha valamely rúd egyik végét, A-t (25. ábra) csavarral megerősítvén, másik, szabad végét B-t, súlyokkal terheljük, akkor ez meghajlik.

25. ábra.



A rúd ruganyossága e meggörbített alakjában egyensúlyt tart a P súlylyal. Ha a rúd hasábalakú, és hosszúsága l, vastagsága e, szélessége b, akkor a hajlás nagysága α arányos a súlylyal P-vel, a hosszúság harmadik hatványával, és fordított arányban van a szélességgel, a vastagság harmadik hatványával és egy F tényezővel, mely az anyag minőségétől függ:

$$\alpha = \frac{Pl^3}{Fbe^3}$$

E képlet tisztán elméleti számítás eredménye, melyet a kísérletek is igazolnak.

5. **A ruganyosság határa.** — A test, az erő hatásának megszünésével, nem mindig tér vissza eredeti állapotába, sőt gyakran állandó alakváltozás következik be. Csekély súlylyal kinyujtott fonal eredeti hoszszát visszanyeri, ha a súlyt leveszszük róla; de tetemes megterhelés után a meghosszabbodás egy részét állandóan megtartja. Egy botot kis szög alatt megcsavarhatunk, anélkül, hogy maradandó változásnak tennök ki; de a mint bizonyos határon túl megyünk, a bot csavarva marad. Ép így megváltozik egy túlságosan igénybe vett rugó is. E körülményből magyarázható meg a bélyegző állandó benyomása a fémlapra, és általában a kalapácsolás hatása. A testek ruganyosságának van tehát bizonyos határa, mely a különböző testeknél igen különböző. Igy például a kaucsuk nagy mértékben nyujtható, vagy terjeszthető, mig állandó változást mutat; ellenben az ólom alakját a legnagyobb könnyűséggel lehet megváltoztatni.

Meg kell tehát vizsgálnunk, hogy 1 négyszög-milliméter keresztmetszetű sodronyt mekkora súlylyal kell megterhelnünk, hogy állandó meghosszabbodás következzék be. E vizsgálatot megnehezíti azon körülmény, hogy az időtartam is, mely alatt a súly működik, nagy befolyással van az eredményre; sőt gondosan véghez vitt kisérletek azt is mutatják, hogy minden kiterjedés állandó meghosszabbodással jár, úgy, hogy a mint ez megkezdődik, az erők állandó hatása alatt folytatódik is. Innen jön, hogy a rugók feszítő erejöket mindinkább elvesztik; a gerendák, a felső padolatok meghajlanak és az épületek idővel sülyednek.

Minthogy tehát maradandó meghosszabbodás nem egyedül bizonyos nagyobb mérvü terhelés következménye, nem marad egyéb mód hátra, mint azon hosszváltozás meghatározása, melyet a keresztszelvény egységére működő meghatározott súly, bizonyos idő alatt különböző anyagokban létesít Hodgkinson azt találta, hogy bizonyos

terhelésen túl (a vasnál 1 négyszög-millimeter keresztszelvényre 18·7 kilogramm terhelés képezi a véghatárt) a maradandó meghosszabbodás feltünően növekszik, és egyszersmind nagyobb lesz, mint a ruganyos meghosszabbodás; s így azon terheléssel, melynél ez beáll, mérjük a ruganyosság határát.

Azonban ezen értelemben a kisérletek még nincsenek végrehajtva, azért a különböző fémek ruganyosságának megitélhetésére alább közöljük Wertheim adatait, melyek mutatják, hogy a különböző fémekből készített 1 négyszögmilliméter keresztmetszetü sodronyokat mekkora súlylyal kell megterhelnünk, hogy egy óra alatt az eredeti hosszúság 0·00005-ed részével maradandóan meghosszabbodjanak.

A fémek ruganyossági határa szükebb lesz, ha azokat kiizzítjuk, azért kell a sodronyokat megnyujtás előtt izzítani; a vaspléh-hengeren már egyszer keresztül ment fémet is ujolag izzítják, ha még tovább akarják nyujtani.

6. **A szilárdság.** — Ha a sodrony terhelését folytonosan növesztjük, az végre elszakad. Azon súlylyal, mely az 1 négyszögmilliméter keresztmetszetü, tetszőleges hosszúságu sodronyt elszakítja, mérjük ama test szilárdságát. De az időtartam itt is lényeges szerepet játszik.

A mint a ruganyosság határán túl megyünk, a sodrony nagyobb mértékben hosszabbodik, és rögtön elszakad. Azonban hoszszú idő alatt oly súly is elszakítja a sodronyt, melynél sokkal nagyobbat képes rövid ideig eltartani. E fontos tényt a szerkesztéseknél tekintetbe kell venni.

A következő táblázat a fent említett adatokat és ugyancsak Wertheim által talált azon súlyokat tünteti föl, melyek az adott értelemben a szilárdság mértékeül szolgálnak.

Fémek	Az eredeti hossznak 0·00005-adrész maradandó, meghossz.-ra szükséges súly	Az elszakításra szükséges súly	Fémek	Az eredeti hossznak 0·00005-adrész maradandó meghossz.-ra szükséges súly	Az elszakításra szükséges súly
	Kilogr.	Kilogr.		Kilogr.	Kilogr.
Ólom	0·25	2·50	Réz	12·00	40·30
„ izzítva . .	0·20	1·80	„ izzítva . .	3·00	30·54
Ón	0·40	2·45	Éreny	26·00	34·10
„ izzítva . . .	0·20	1·70	„ izzítva . .	14·50	23·50
Arany	13·50	27·00	Vas	32·50	61·10
„ izzítva . .	3·00	10·08	„ izzítva . .	5·00	46·88
Ezüst	11·00	29·00	Öntött acél . .	55·60	83·80
„ izzítva . .	2·50	16·02	„ „ izzítva	5·00	65·70

V. A testek ütközése.

Ha két tömeg m és m', v és v' ugyanazon irányu sebességgel bír és v nagyobb, mint v', akkor a két test találkozik, és találkozásuk után rövid ideig egymásra nyomást gyakorol, minek következtében mindkét test sebessége megváltozik; a taszító test sebessége kisebbedik, a taszított-é pedig nagyobbodik. Ha a sebességeket az ütközés után c és c'-el jelöljük, akkor m sebességének változása $v-c$, m'-é pedig $c'-v'$. S minthogy a nyomás, mely a sebesség-változást előidézte, mindkét tömegre, mint hatás és ellenhatás, tökéletesen egyenlő mértékben működik, azért az általa előidézett sebességek visszás arányban vannak a tömegekkel, vagyis

$$\frac{v-c}{c'-v'} = \frac{m'}{m} \qquad \text{és ebből}$$

$$m v + m' v' = m c + m' v'.$$

Egy második összefüggés megkeresésére két esetet kell megkülönböztetnünk.

1) Ha mindkét test tökéletesen rugalmatlan. Ezen esetben a nyomás maradandó alakváltozást hoz létre; a testek az ütközés után együtt maradnak és közös sebességgel haladnak tovább. Ezen esetben tehát $c = c'$ és így

$$m v + m' v' = (m + m') c,$$

$$c = \frac{m v + m' v'}{m + m'}$$

$$v - c = \frac{m'(v - v')}{m + m'} \quad \text{és} \quad c - v' = \frac{m(v - v')}{m + m'}$$

Ha v' v-vel ellenkező irányú volt, akkor ezen kifejezésben v'-et ellenkező jellel kell ellátnunk, és akkor

$$c = \frac{m v - m' v'}{m + m'}$$

Ha a testek sebességei az ütközés előtt épen akkorák, hogy $m v = m' v'$, akkor $c = o$, vagyis a két test az ütközés által nyugvásba jön. Ez az eddigiektől lényegesen eltérő eset, mert valahányszor mozgási erély megsemmisült, mindig vele egyenértékű helyzeti erélyt létesitett, a mi itt nem történik. A két test mozgási erélye látszólag elenyészik; — azonban csak látszólag, mert az ütközés által munka hajtatik végre, a testek maradandó alakváltozást szenvednek, és a mint később látni fogjuk, ilyen esetben mindig meleg létesül. S minthogy itt nem csak akkor történik maradandó alakváltozás és állíttatik elő meleg, ha $c = o$, hanem minden egyes esetben: azért a mozgási erély mindig kisebb az ütközés után, mint előtte volt. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha e kettőt összehasonlítjuk.

A mozgási erély az ütközés előtt $^1/_2\, m v^2 + {}^1/_2\, m' v'^2$, az ütközés után $^1/_2 (m + m') \left(\frac{m v + m' v'}{m + m'}\right)^2$, tehát állni kell, hogy

$$m v^2 + m' v'^2 > \frac{(m v + m' v')^2}{m + m'}$$

ha a nevezővel felszorzunk és a négyzetet kifejtjük, akkor a kellő rövidítés után lesz

$$v'^2 + v^2 > 2 v v'$$

és valóban, két szám négyzetének összege mindig nagyobb, mint kétszeres szorzata; kivévén azon egy esetet, midőn a két szám egyenlő, akkor a két kifejezés is egyenlő; mely esetben a testek nem is ütköznek össze.

2) Hogy ha ellenben a két test tökéletesen rugalmas, akkor az ütközés után azonnal visszanyerik eredeti alakjaikat, és e kiterjedés által oly ellenhatást gyakorolnak, hogy az alakváltozásra fordított munka azonnal tökéletesen átváltozik mozgási erélylyé, úgy, hogy ezen esetben a két test mozgási erélyének összege az ütközés által nem változik. E körülmény szolgáltatja, két tökéletesen rugalmas test összeütközéséből származó sebességek közt, a második összefüggést; e szerint ugyanis

$$m v^2 + m' v'^2 = m c^2 + m' c'^2 \qquad \text{vagy}$$

$$m (v^2 - c^2) = m' (c'^2 - v'^2)$$

ha ezt az előbb általánosan levezetett egyenlettel $m (v - c) = m' (c' - v')$ elosztjuk, akkor nyerjük, hogy

$$v + c = v' + c'$$

és a két utóbbi egyenletből

$$c = \frac{2 m' v' + (m - m') v}{m + m'}; \quad c' = \frac{2 m v + (m' - m) v'}{m + m'}$$

melyekbe ismét v' helyett $-v'$-et kell tennünk, ha a sebességek ellenkező irányuak.

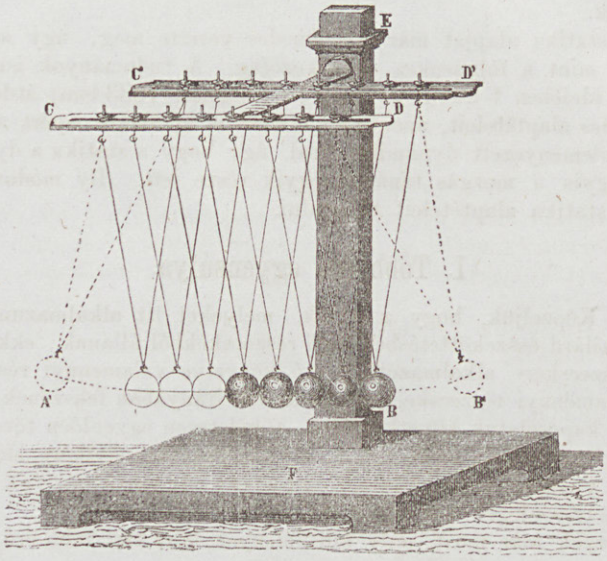
Ha a tömegeket egyenlőknek veszszük fel, akkor a két kifejezés egyszerűen

$$c = v' \text{ és } c' = v$$

értékekbe megy át. Azaz: a testek találkozásuk után sebességeiket felcserélték. Ha ehez még felveszszük, hogy $v = 0$, tehát, hogy az m' tömeg az ütközés előtt nyugvásban volt, akkor sebességeiket felcserélve, az ütközés után m fog nyugvásban maradni, és m' az előbbinek v sebességével tovább haladni.

Ezen eredményt könnyen lehet kisérletileg is igazolnunk. Egy közös tartóra (26. ábra) több egyenlő elefántcsont-golyót úgy függesztünk fel, hogy egymást érintve egyenes vonalban haladjanak tovább. Az egyik szélső golyót bizonyos szöggel eltávolítjuk a többitől, azután elereszt jük, hogy visszaessék. Ez a következőt meglöki, és nyugvásban marad, egész sebességét szomszédjának adva át, mely ismét a harmadikra ruházza azt; ez így folytatódik egész a B golyóig,

26. ábra.



mely végre ugyanazon magasságra emelkedik fel, mint a minőről az A golyó leesett. B golyó leesése által ismét A golyó löketik ki, s i. t.

Ha egy golyó igen nagy tömegü tárgyra talál, akkor $v' = 0$ és fel lehet venni, hogy $\frac{m}{m'} = 0$. Az eredő sebességek tehát $-v$ és zérus. Azaz: a golyó az ütközés után volt sebességével egyenlő, de ellenkező irányú sebességgel bir. Igy például, ha elefántcsont-golyót márványlapra ejtünk, ennek ugyanoly magasságra kellene visszapattannia, mint a minőről leesett; ismét leesni és visszapattannia s i. t. De a mozgás csakhamar elgyengül és megszünik, mert a ruganyosság nem tökéletes, és az ellentálló tömeg nem végtelen nagy.

Végre, ha a golyó ferdén esik az ellentálló síkra, sebessége az érintő s a merőleges irányában két összetevőre bomlik, és csak az utóbbi változtatja meg jelét. Ez által oly sebesség ered, mely a síkkal ép akkora visszaverődő szöget ad, mint a mekkora a beeső szög.

MÁSODIK FEJEZET.

A szilárd testek statikája.

Külső erők akkép hathatnak valamely testre, hogy a testet mint egészet mozgásba nem hozzák; ekkor azt mondjuk, hogy a működő erők egymással egyensúlyt tartanak. Az erőműtan azon része, mely

ezen különös esettel foglalkozik statikának, a nyugvás tanának neveztetik.

A statika alapját már Archimedes vetette meg, úgy a szilárd testekre, mint a folyósokra vonatkozólag. A tudományok ismétli felkarolása idejében Ubaldi és Stevin (meghalt 1633-ban) átdolgozták Archimedes alaptételeit, azonban a statika is új alakot nyert a Galilei által kezdeményezett dynamika által, úgy hogy a statika a dynamikának, vagyis a mozgás tanának egyik része lett. Ily módon fogjuk mi is a statika alaptételeit tárgyalni.

I. Több erő egyensúlya.

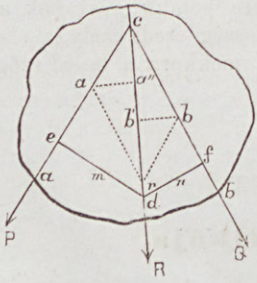
1. Képzeljük, hogy a testek, melyeket itt alkalmazunk változatlan, szilárd összeköttetésben lévő részecskékből állanak; ekkor valamely részecskére alkalmazott P erő közvetve valamennyi részecskére hat. Valamennyi részecske, melyek az erő irányában fekszenek, változhatatlan kapcsolatuk következtében, tökéletesen egyenlően törekszenek mozogni; ennélfogva egyre megy, e részecsek bármelyikére hat az erő. Vagyis: valamely erő támadó pontját, irányában fekvő bármely részecskére tehetjük át.

Nézzük már most, mily körülmények közt tart több erő, melyek ugyanazon testre működnek, egyensúlyt.

Két erő csak akkor tarthat egyensúlyt, ha támadó pontjai egy közös pontra tehetők át. Különben forgó mozgást létesítenek, vagy, ha párhuzamosak és ugyanazon irányuak, úgy hatásuk összegével indítják haladó mozgásnak a testet; ezt azonnal be lehet látni, ha ezen eseteket tisztán elképzeljük. A föltétel tehát, melynél két erő egyensúlyt tart a következő: A két erőnek egyenlő- és egy egyenesbe eső, ellenkező irányunak kell lenni.

Három vagy több erő egyensúlyban lesz akkor, ha egyikük a többinek eredőjével egyenlő és ellenkező irányú. Az eredőt pedig következőkép határozhatjuk meg.

27. ábra.



Két, egy síkban működő erő, P és Q (27. ábra) eredőjét akkép határozzuk meg, hogy őket meghoszszabbításai metszőpontjába, c-be helyezzük át, úgy, hogy $P = ca$ és $Q = cb$, és azután a paralellogramm tétele szerint összeteszszük. Az így talált R eredővel egyenlő és ellenkező irányú erő P és Q-val egyensúlyt tart. A test nyugvásban pedig akkor marad, ha az eredő irányában fekvő pontja szilárdan megerősíttetik.

Ha több erő működik a testre, úgy a harmadik erő a két elsőnek eredőjével tétetik össze és így tovább.

2. **Forgató erők egyensúlya.** — Képzeljük, hogy az előbbi test d pontja szilárdan meg van erősítve, ekkor, mint láttuk, mozgás

nem jöhet létre. De ha az egyik erő nagyságát megváltoztatjuk, világos, hogy a nagyobb erő irányában mozgás keletkezik; s minthogy a d pont helyét el nem hagyhatja, e pont körüli forgó mozgás fog bekövetkezni.

Az előbb meghatározott egyensúly esetében forgó mozgás sem jöhetett létre, ennélfogva ebből azon föltételt is állapíthatjuk meg, melynél a forgató erők egymással egyensúlyt tartanak.

Húzzunk e célra d pontból P-re és Q-ra, továbbá a és b-ből R irányára merőlegeseket, akkor $caa' \triangle \sim ced \triangle$ és $cbb' \triangle \sim cdf \triangle$, melyekből következik, hogy

$$m : aa' = cd : ca \quad \text{és}$$

$$n : bb' = cd : cb$$

s mivel $caa' \triangle \cong bb'r \triangle$, látható, hogy

$$aa' = bb'$$

tehát

$$m \,.\, ca = n \,.\, cb \quad \text{vagy}$$

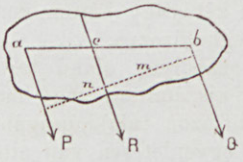
$$m \,.\, \mathrm{P} = n \,.\, \mathrm{Q}$$

mondhatjuk tehát, hogy forgás nem állhat be azon esetben, ha a jobbra forgató erő szorzata távolságával a megerősített ponttól egyenlő a balra forgató erő és a megfelelő távolság szorzatával.

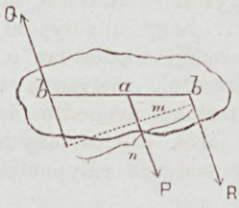
Az erő és a távolságát kifejező számok szorzatát az erő statikai nyomatékának nevezzük. E nyomaték adja meg az erőforgató hatását.

Ha több erő működik egy síkban vagy párhuzamos síkokban, úgy egyensúly esetében általában áll, hogy az egyik oldal felé forgató erők nyomatékainak összege egyenlő a másik felé forgató erők nyomatékainak összegével.

28. ábra.



29. ábra.



3. **Párhuzamos erők.** — Az erők áttétele által nyert szerkesztés párhuzamos erőkre nem alkalmazható, minthogy ezek meghoszszabbításaikban nem találkoznak. De könnyen be lehet látni, hogy az eredő az adott erőkkel párhuzamos lesz, és vagy a kettő összegével egyenlő, ha egy irányuak, vagy különbségeikkel, ha ellenkező irányuak.

Az eredő támadó pontját a nyomatékok egyenlőségéből nyerjük, t. i. $\mathrm{P}m = \mathrm{Q}n$ egyenletből. Igy például a 28. ábrában a P és Q erők eredője c-ben van, ha

$$m : n = \mathrm{P} : \mathrm{Q}.$$

Ellenkező irányú erők (29. ábra) eredője a nagyobb erőn túl esik, és ezzel egyenlő irányú, úgy hogy ismét

$$m : n = \mathrm{P} : \mathrm{Q}$$

hol n Q távolságát b-től jelöli.

Ezen esetekben is egyensúlyt tart az eredővel egyenlő és ellenkező irányú erő. Csak azon egy esetben, a midőn az ellenkező irányú erők egyenlők, nincs eredő: nem gondolható olyan harmadik erő, mely a mozgást megakadályozná. Ilyen két erőt *erőpárnak* nevezünk.

A 28. ábrában a *c* pont olyan tulajdonságú, hogy bármily irányt is vesznek fel a P és Q erők, és bármikép forgatjuk a testet, az erők eredője mindig *c* ponton megy keresztül. E pont, mint az eredő állandó támadó pontja, a *párhuzamos erők középpontjának* nevezteti.

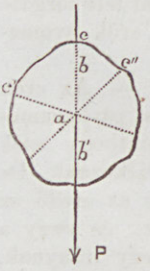
II. A súlypont.

1. A nehézségi erő a test minden pontjára párhuzamosan működvén, e párhuzamos erőknek mindig megfelel egy, a testben vagy azon kivül fekvő középpont, melynek megerősítése által a test súlyegyenben marad. A nehézségi erők e középpontja *súlypontnak* neveztetik.

A súlypont tehát azon tulajdonsággal bír, hogy ha benne a test alátámasztatik, az minden helyzetben súlyegyenben marad. Minden helyzetben ugyanis az egyik oldalon lévő részecsek súlyai ép akkora erővel törekszenek a testet forgatni, mint a másik oldalon.

Minthogy a nehézség minden tömegrészecskére egyformán hat, a súlypontot *tömegközéppontnak* is nevezhetjük.

30. ábra.



Ha a testet nem súlypontjában, *a*-ban (30. ábra), hanem más *b* vagy *b'* pontban erősítjük meg, úgy ez csak akkor marad nyugvásban, ha ezen pont épen a súlypont alatt vagy fölött fekszik, csak ekkor képes az eredőt ellensúlyozni. Ebből a súlypontot egyszerü módon határozhatjuk meg. Ugyanis, ha a testet egymásután két vagy három pontjában (*c*, *c'*, *c''*) felfüggesztjük, úgy a súlypont mindenkor a fonal meghosszabbításában fekszik; tehát e két vagy három vonal átmetszési pontja által van meghatározva.

Egyenletes tömegü és szabályos alakú testek súlypontjait elméleti úton lehet kiszámítani vagy megszerkeszteni, és pedig a súlypont azon tulajdonságából, hogy körülötte a test tömege egyenletesen van elterjedve.

2. Stabil, labil és közömbös súlyegyen. — A testet, hogy nyugvásban maradjon akkép kell alátámasztani, hogy a súlypontján keresztül menő függélyes, a nehézségi erők eredője, szilárdan megerősített ponton vagy azon alapon menjen keresztül, melyen a test nyugszik. E föltét mindig teljesítve van, ha testeket nyugodtan állni látunk. Sok mozdulat, melyet az ember állás, járás, emelés vagy hordás közt öntudatlanul tesz, arra szolgál, hogy testének súlypontját a lábak által bezárt terület fölött megtartsa.

Ha olyan testet, melynél az említett föltétel teljesítve van,

kevéssé elmozdítunk, úgy egynéhány lengés után előbbi helyzetét visszafoglalja. E mozgás alatt a súlypont mindig emelkedik, úgy hogy a test nyugvásakor foglalja el legmélyebb helyzetét. Ilyen esetben a test súlyegyenét stabil súlyegyennek mondjuk.

Ha pedig a test akkép van alátámasztva, hogy kis elmozdítás után e mozgást tovább folytatja, akkor a súlyegyen labil. Labil súlyegyenben van a test, ha oly pontjában van alátámasztva vagy felfüggesztve, mely a súlypont alatt fekszik.

Ha a test éppen súlypontjában van alátámasztva, úgy, mint láttuk, minden helyzetben súlyegyenben marad; ekkor a test közömbös súlyegyenben van.

III. Az egyszerű gépek.

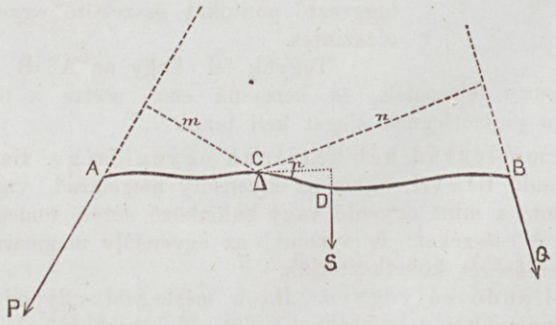
Hogy a természetből nyert erőket, mint az állatok izomerőit, a nehézséget, a folyó víz és szél nyomását, a gőz vagy melegített levegő feszítő erejét, s a t. hasznos célokra fordíthassuk, különböző módon át kell alakítanunk, a mire gépek-nek nevezett készülékek szolgálnak. E gépek több egymással összekapcsolt részekből állanak, melyek mindegyikét egyszerű gépnek tekinthetünk.

Valamely gép használhatóságának megitélésére meg kell keresnünk, hogy milyen föltételek mellett marad egyensúlyban.

A gépek elemi részeit, vagyis az egyszerű gépeket kétfélékre oszthatjuk, ugyanis olyanokra, melyek forgó mozgást, és olyanokra, melyek csúszó mozgást idéznek elő. Az elsők elméletét az emelőre, az utóbbiakét a lejtőre vezethetjük vissza. Azért az emelő és a lejtő az egyszerű gépek képviselői gyanánt tekintetnek.

1. **Az emelő.** — Emelőnek minden egyenes vagy görbe rudat nevezünk, mely egy tengely körül foroghat és melyre erők működnek. Igy például az AB rúd C pontján alá van támasztva (31. ábra),

31. ábra.



A és B pontjain működnek a P és Q erők; kérdés, hogy milyen föltétel mellett marad a rúd egyensúlyban.

A forgató erőkre fönnebb találtuk, hogy egyensúly esetében a jobbra forgató erők nyomatékainak egyenlőknek kell lenni a balra forgató erők nyomatékaival.

A P és Q erőkön kivül még tekintetbe kell vennünk a rúd súlyát S-et. A rúdnak minden egyes része függélyesen lefelé húzza azt; e párhuzamos erők eredője a rúd súlypontjában van, azért az egész rúd súlyát súlypontjában D-ben működve képzelhetjük.

Az emelő tehát egyensúlyban lesz, ha

$$Pm = Qn + Sp$$

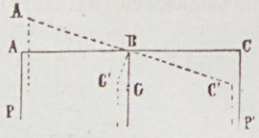
ha m, n, p a három erő merőleges távola az alátámasztó ponttól. A merőleges távolság az erő karjának is neveztetik. Két erőre nézve áll azon egyszerű törvény, hogy súlyegyen esetében az erők fordított arányban vannak karjaikkal.

Ha az emelőn működő erők e föltételnek nem felelnek meg, úgy mozgás áll elő, és könnyen belátható, hogy az egyik erő irányában leírt út annyiszor nagyobb a másik erő irányában leírt útnál, a hányszor az első erő kisebb a másodiknál. Tehát a kettőnek munkája egyenlő. Látjuk, hogy az emelő alkalmazása által munkát nem nyerünk. Ugyanazt fogjuk tapasztalni valamennyi gépnél: a mit erőben nyerünk, azt veszítjük az útban.

Az emelő a gyakorlatban számtalan módon van alkalmazva, így például az ollónál, a fogónál, a mérlegnél, s i. t. Kétségkivül a mérleg legnevezetesebb alkalmazása, melyet közelebbről kell megtekintenünk.

2. **A mérleg.** — Ez azon készülék, melylyel a testek tömegeit súlyaik által összehasonlítjuk. Egy emelőből áll, mely B tengely körül foroghat (32. ábra), és két végén egyenlő súlyú csészéket tart, melybe az összehasonlítandó testek tétetnek. Ha a csészék üresek, a mérlegrúd egyensúlyba jön, a midőn a G súlypontján keresztül bocsátott függélyes a forgási tengelyen keresztül megy. A mérleg ezen állásában a felfüggesztő pontokat összekötő egyenes, A C, vízszintes.

32. ábra.



Tegyük fel, hogy az A, B, C pontok egy egyenesben fekszenek, és keressük ezen esetre a föltételeket, melyeknek a jó merlegnek eleget kell tenni.

1) A mérlegrúd két karjának egyenlősége. Ha A B tökéletesen egyenlő B C-vel, akkor az egyensúly megmarad, vagy felbomlik, a szerint, a mint egyenlő vagy különböző súlyú tömegekkel terheljük meg a csészéket; és viszont, az egyensúly megmaradásából a súlyok egyenlőségét következtetjük.

2) Állandó súlyegyen. Ha a mérlegrúd súlypontján volna megtámasztva, akkor a csészéknek, egyenlő súlyokkal való megterhelésekor, közömbös súlyegyenben volna; de a legkisebb súlykülömbségnél a rúd átcsapna a nagyobb teher oldalára, és addig húzná le a

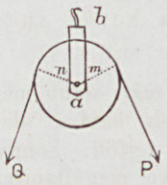
rudat, mig akadályra nem találna, vagy míg függélyes helyzetben nem volna. Ilyen készülék nem volna célszerű, és még kevésbbé olyan, melyen a súlypont B fölött van, mert akkor a mérleg egyáltalában csak labil súlyegyenben lehetne. A mérleg tehát csak akkor használható, ha G súlypontja a felfüggesztő pont alá esik: ekkor a súlyegyen stabil, és egyenlő terhelés mellett néhány lengés után magától jön ismét egyensúlyba, ha abból kihozatik.

3) Az érzékenység feltételei. Ha különböző súlyú testekkel terheljük a csészéket, akkor külömbségük okozza, hogy A C vonal A′C′ helyzetbe jut, és hogy a súlypont G-ből G′-be emeltetik mindaddig, míg az itt működő mérleg súlya a C′-ben működő súlykülömbséggel egyensúlyt nem tart. Hogy a mérleg érzékeny legyen, a rúdnak már kis súlykülömbségnél is lehető nagy szöggel kell elhajolnia. Az elhajló szög annál nagyobb lesz, minél nagyobb B C a túlsúly karja, és minél kisebb a B G kar, melynek G végén a rúd súlya működik, és minél kisebb az e pontban működő erő, vagyis a rúd súlya.

A mondottak szerint egy pontos és érzékeny mérlegnek a következő föltételeknek kell eleget tenni:

1. A két karnak tökéletesen egyenlőnek kell lenni.
2. A csészék felfüggesztő pontjai és a mérleg alátámasztó pontja egy egyenesbe essenek.
3. A mérlegrúd hosszú legyen, de könnyű, és
4. súlypontja a forgási tengely alá, de hozzá igen közel essék.

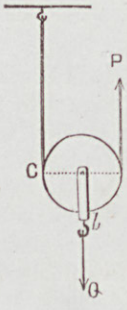
33. ábra.



3. **A csiga.** — Olyan korong, mely középpontján *a*-n (33. ábra) foroghatóan van megerősítve, és mely körül kötél tekerhető, csigának neveztetik. A kötél két végén működnek az erők P és Q.

Könnyen beláthathó, hogy ilyen nyugvó csigánál a két erőnek egyenlőnek kell lenni, hogy a csiga ne forogjon. A P és Q erők távolságai ugyanis az alátámasztó ponttól, *m* és *n*, egyenlők. E gép csak az erő irányának megváltoztatására használtatik.

34. ábra.

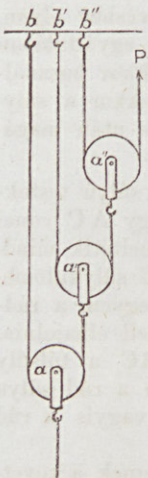


A csigák második neme a mozgó csiga (34. ábra). A lefelé álló *b* kampóra van függesztve a teher, melyet a kötél végén fölfelé működő P erő egyensúlyoz, illetőleg fölemel. Az alátámasztó pont C-nél van, mert e körül forog a csiga.

Minthogy a P erő karja kétszer akkora, mint Q-é azért egyensúly esetében Q kétszer akkora tartozik lenni, mint P. Ha P valamivel nagyobb, úgy a súlyt felemeli (nem tekintve a surlódást), mely alkalommal P útja kétszer akkora, mint Q-é. Tehát munkát e gépnél sem nyerünk.

Több csiga összekötése által nyerjük a nagy terhek emelésére gyakran használt csigasorokat.

35. ábra.



A csigákat összeköthetjük a 35. ábrában látható módon, melynél minden csiga az erőt felére csökkenti; tehát ha n csiga van alkalmazva, úgy a P erő és a Q teher közt, egyensúly esetében, a következő összefüggés van:

$$P = \frac{Q}{2^n}$$

A csigasorok a 36. ábrában látható módon köttetnek össze leggyakrabban. A és B-nél több csiga egy hüvelybe van foglalva; A megmarad helyén, míg B a P-nél működő erő által felfelé huzatik. Ha n csiga van, úgy az alsó hüvelyen függő Q teher az n kötélrészre egyenlően osztatik szét, azért

$$P = \frac{1}{n} Q.$$

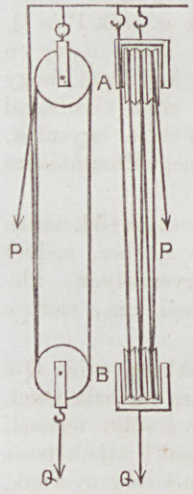
Könnyen belátható, hogy csigasoroknál is annyit veszítünk útban, a mennyit erőben nyerünk.

4. **A hengerkerék.** — Egy másik gép, mely terhek emelésére használtatik: a hengerkerék; egy hengerből és erre erősitett kerékből áll. A P erő az A kerék R sugarán működik (37. ábra), míg a Q teher a B hengerre tekerődző kötélen függ.

Látni való, hogy az erő karja R, a teher karja pedig a henger sugara r. Egyensúly esetében tehát

$$P : Q = r : R$$

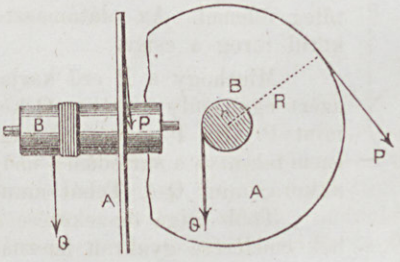
36. ábra.



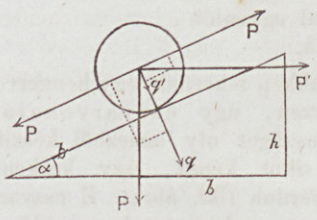
vagyis: az erő oly arányban van a teherhez, mint a henger sugara a kerék sugarához.

5. **A lejtő sik.** — Azt már alább meghatároztuk, hogy a testek súlyuk hatása alatt milyen törvények szerint esnek a lejtőn; könnyű lesz azon tárgyalásra visszaemlékezve, megállapitani azon erő nagyságát, mely e mozgást megakadályozza, vagyis, mely a test sulyával egyensúlyt tart.

37. ábra.



38. ábra.



A vízszintessel α hajlásszöget képező lejtőre (38. ábra) képzeljünk sima felületü gömböt helyezve, melynek súlya P a gömb középpontjába eső súlyponton működik. Minthogy a test nem az erő irányában, hanem csak a lejtő l irányában mozoghat, az erőnek csak bizonyos hányadrész p fogja a mozgást előidézni, másik része q a lejtőre nyomást gyakorol. E két erő nagyságát, mint már több ízben láttuk, a paralellogramm tétele szerint kereshetjük meg.

A paralellogramm szerkesztése által keletkező háromszögek hasonlók lévén a lejtő által képezett háromszöggel, áll, hogy

$$p : \mathrm{P} = h : l \qquad \text{és}$$
$$q : \mathrm{P} = b : l$$

h a lejtő magasságát, l hoszszát és b alapját jelöli. Mondhatjuk tehát, hogy a lejtőn a mozdító erő oly arányban van a test sulyához, mint a lejtő magassága hoszszához; a nyomás pedig oly arányban a súlyhoz, mint a lejtő alapja hoszszához.

Egy, p-vel egyenlő és ellenkező irányu erő a test sulyával egyensúlyt tart. Gyakran azonban a lejtő alapjával párhuzamos p' erővel tartjuk a testet, mely esetben p'-nek akkorának kell lenni, hogy p irányába eső componensse egyenlő p-vel. Ebből következik, a mi az idomból látható, hogy

$$p' : p = l : b$$

s minthogy az előbbi arányok elsejéből

$$p = \mathrm{P} \cdot \frac{h}{l}$$

azért $$p' : \mathrm{P}\,\frac{h}{l} = l : b \qquad \text{tehát}$$

$$p' : \mathrm{P} = h : b$$

vagyis, ha az erő a lejtő alapjával párhuzamos, úgy akkor tart egyensúlyt, ha nagysága oly arányban van a test egész súlyához, mint a lejtő magassága van alapjához.

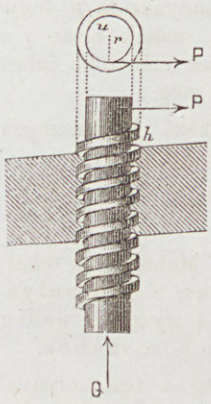
Az erő által végrehajtott munka itt mérve van a test súlya és azon magasság által, melyre emeltetett. Ha a p vagy a p' irányú erő által a testet felhúzzuk, úgy kisebb erővel hajtottuk végre a Ph munkát, mintha közvetetlenül h magasságra emeltük volna; de a fönnebbi arányok közvetetlenül mutatják, hogy éppen azon arányban kellett nagyobb utat leírni, melyben az alkalmazott erő kisebb volt a test súlyánál. A p erő ugyanis, akkor hajtotta végre a Ph-val egyenlő munkát, ha az l utat leírta; p' pedig akkor, ha b-vel egyenlő utat írt le. Tehát azon arányban kell nagyobb utat leírni,

mely arányban kisebb erőt alkalmazunk, úgy hogy az alkalmazott erők szorzatai az irányukban leírt utakkal egyenlők :

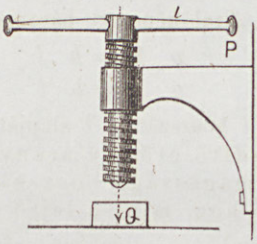
$$pl = p'b = Ph.$$

6. **A csavar.** — Ha háromszöget akkép tekerünk egy hengerre, hogy a háromszög alapja kört képezzen, úgy csavarvonalat nyerünk. Ha a háromszöget oly lemezből készítjük, melynek éle síkot képez, úgy keskeny csavarfelületet nyerünk (39. ábra). E csavarfelület ferde síkot képez, melyen a vele egyenlően, de homoruan metszett csavaranya lecsúszhat; úgy, hogy minden körülforgásnál a csavar-menet magasságával halad előre.

39. ábra.



40. ábra

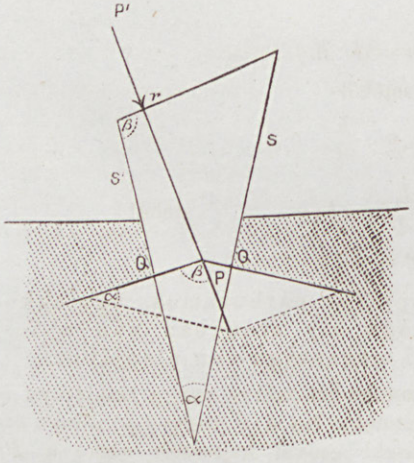


Ha a forgató erőt, mely a henger u kerületén az alappal párhuzamosan működik, P-vel jelöljük, és Q-val a henger hoszszának irányában működő nyomást, úgy az előbbi pont szerint

$$P : Q = h : u$$

Minél nagyobb a kerület $u = 2\pi r$, a csavarmenet magasságához h-hoz képest, annál nagyobb a nyomás a forgató erőhöz képest.

41. ábra.



A csavar rendesen nagy nyomások előidézésére használtatik, mely célból az erő hatásának fokozására ez nem a henger kerületén, hanem hosszabb emelőn alkalmaztatik, mint a 40. ábrában látható. Ezen esetben az l hosszúságu karon működő p erő oly arányban van Q-hoz, mint Q útja h van P útjához $2\pi l$-hez, vagyis

$$P : Q = h : 2\pi l.$$

7. **Az ék.** — Ez két széthajló síkkal határolt test, mely szétfeszitésre használtatik. Ha az ék két ellentálló test közé szoríttatik, úgy a hátára r-re merőlegesen alkalmazott P erő (41. ábra) két nyomást Q és Q'-et hoz létre, melyek az s és s' felületekre merőlegesen működnek, és melyeket a paralellogramm tétele szerint lehet meghatározni.

A paralellogramm szerkesztéséből keletkező háromszögek hasonlók az ék keresztmetszetével, mivel az oldalok egymásra merőlegesek; azért

$$P : Q = r : s \quad \text{és}$$
$$P : Q' = r : s'$$

vagyis az ék hátán működő erő oly arányban, az oldalokon működőkkel, mint az ékháromszög illető odalai. Minél kisebb r s-hez képest, vagy minél élesebb az ék, annál nagyobb a P erő hatása; a mi a metsző eszközök könnyű behatolását magyarázza.

HARMADIK SZAKASZ.

A folyós testek mechanikája.

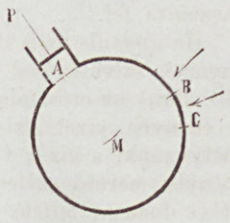
Az erők és az általuk előidézett mozgásokról az első szakaszban megismert alaptételek ép úgy alkalmazhatók a testek egyik, mint másik halmazatára; de a folyadékoknak azon különös tulajdonsága, hogy mindig szétfolyni törekszenek, vagyis, hogy minden részecske a lehető legmélyebb helyet iparkodik elfoglalni, szükségessé teszi, nem csak hogy elzáró edényükből való kifolyásukat, hanem hogy egyensúly feltételeit is, a szilárd testekétől külön tanulmányozzuk. Kezdjük az e tulajdonságukból folyó közvetetlen következménynyel : az edény falaira gyakorolt nyomással.

I. Nyomás és ruganyosság.

1. **Az egyenlő nyomás elve.** — A folyadékokban a tömecsek azon sajátságos összefüggése, mely szerint a legkisebb erő az egyes tömecseket helyeikből elgördíti, azt eredményezi, hogy a folyadék felületére kivülről gyakorolt nyomás oly módon terjed tovább, hogy abban minden egyenlő nagyságu felület-elemre egyenlő merőleges nyomás működik; legyen e felület-elem akár a folyadék belsejében, akár annak felszínén.

Ha egy gömbalakú edényt megtöltünk folyadékkal (42. ábra) és egy A felületü dugaszt P erővel nyomunk ra, úgy a folyadék összenyomatik (habár igen csekély mértékben); a tömecsek ez által egymáshoz közeledtek, minek folytán közöttük oly erő működik, mely őket eredeti helyzeteikbe igyekszik visszahozni : s ez ruganyosságuk. Ezen új állapotban is, a tömecsek az egész tömegben egyenletesen vannak elterjedve, kölcsönös távolságuk mindenütt egyenlő, csakhogy kisebb mint előbb volt. A tömecsek feszült állapotban vannak, mint a rugó, de e feszültség a folyadék egyenletes tömegénél fogva, mindenütt és minden irányban egyenlő.

42. ábra.



Tekintsük a folyadék belsejében lévő felület-elemet M-t. Az általa elválasztott tömecsek oly ellenhatást gyakorolnak erre, mintha közöttök és a dugasz között rugó volna megfeszítve. Ezen erő a felületre gyakorolt nyomásnak neveztetik. Minthogy egyensúly uralkodik, a nyomás a felület mindkét oldalára egyenlő; s a folyadék egyenletességénél fogva ép így lesz az, bár hol álló és bár mily irányú felületnél is.

A folyadékokat jellemző eme törvény, az egyenlő nyomás elvének neveztetik. Ebből következik :

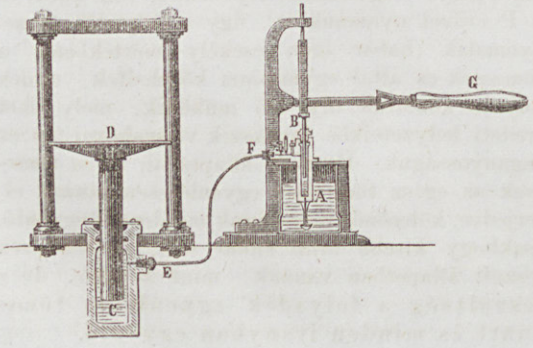
1) Ha a a dugasz felülete és P az arra gyakorolt nyomás, úgy a folyadék ugyanakkora ellenhatást gyakorol rá, minthogy ellensúlyban tartja; és minden a nagyságu felület P nyomást szenved. Hogyha tehát B-nél vagy C-nél egy a nagyságu felület mozgékony volna, akkor az egyensúly megtartására kivülről befelé P erőnek kellene rá működnie. Erre azt mondjuk, hogy az A-nál gyakorolt nyomás B-re átszármaztatott; ez alatt pedig azt kell értenünk, hogy a folyadék térfogata az összenyomás által kisebbíttetvén, mindenütt és minden irányban egyenlő ruganyos ellenhatást fejt ki.

2) Minthogy az A dugasz által gyakorolt P nyomás különkülön B-re és C-re is származtatott át, ezeket egyesítve képzelhetjük, mi által $2a$ nagyságu felületet nyerünk, melyre az átszármaztatott nyomás 2P lesz; ha a felület $3a$, a nyomás is 3P. S így általában minden felület, legyen az a folyadék bensejében vagy annak felületén, nagyságával arányos nyomást szenved.

3) Ha a dugasz felülete 1, és rá P nyomás gyakoroltatik, akkor az 1, 10, 100, 1000 nagyságú felületekre átszármaztatott nyomás is P, 10P, 100P, 1000P lesz; miből következik, hogy kis erővel bármily nagy nyomást gyakorolhatunk.

4) Az arányt meg is fordíthatjuk, mi által az így hangzik : ha különböző dugaszokat használunk, melyeknek felületei 1, 10, 100, 1000, és rájok egyenkint P, 10P, 100P, 1000P nyomásokat gyakorolunk, mind ezen esetekben a folyadékban képzelt felület-egység mindig csak P nyomást fog szenvedni.

43. ábra.



2. A vízsajtó. — Az egyenlő nyomás elvét Bramah erőfokozásra igen alkalmas gép szerkesztésére használta fel.

Ha ugyanis az AB nyomó-szivattyúval (43. ábra) az erős falu C edénybe vizet szivattyúzunk, a víz a C edénybe merülő széles CD dugaszt felfelé tolja; ez pedig a rá-

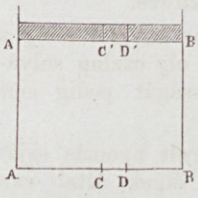
helyezett testeket egy szilárd felülethez sajtolja. — A D dugasz által gyakorolt nyomás annyiszor nagyobb lesz a B-re gyakorolt nyomásnál, a hányszor annak felülete nagyobb ezénél.

Ezzel egyszersmind a talált törvényt kisérletileg igazolhatjuk.

II. A nehézség befolyása.

1) Nézzük meg most, hogy a folyadékok súlya milyen befolyást gyakorol a nyomásra. E célból képzeljünk egy tetszőleges alakú edényt folyadékkal megtöltve, melynek felületére az A' B' súlyos lap (44. ábra) nehezedik, ez minden vele egyenlő területü lapra, például A B-re saját súlyával egyenlő nyomást fog gyakorolni. Ennélfogva A C felület, mely az A B felület felével egyenlő, oly nyomást fog szenvedni, mely A B súlyának felével, vagyis az A C' felületnek megfelelő súlylyal egyenlő. Tehát minden felület, a folyadék belsejében úgy, mint annak külső felületén, oly állapotban lesz, mint ha a nehéz lapnak saját felületével egyenlő része közvetetlenül nehezülne rá. S így bár mikép változhatik e lapnak kiterjedése anélkül, hogy hatása megváltoznék; mert, ha területe 1, 10, 100, ..., súlya is ennek megfelelőleg P, 10 P, 100 P, ..., tehát a felület egységére mindig állandó P nyomást gyakorolna.

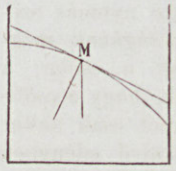
44. ábra.



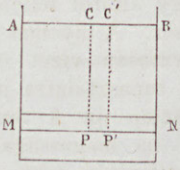
Ezekből következik tehát, hogy az ilynemü dugasz által gyakorolt nyomás : 1) az egész folyadékban állandó; 2) független a felület irányától; 3) egyenlő és ellenkező irányú minden elem két lapjára; 4) a nyomás minden felületre akkora, mint ha a dugasznak vele egyenlő felületü része közvetetlenül nehezülne rá; 5) a nyomás nem változik a dugasz alakjával és nagyságával; vagyis független az edény alakjától.

Tekintsük már most a folyadékokat olyanoknak, a milyenek valóban, t. i. súlyosaknak. Mint már fönnebb emlitők, egyensúly esetében minden folyadék felszinének vízszintesnek kell lennie; mert ha ferde volna, akkor egy M molekül súlya (45. ábra) két összetevőre bomlanék szét, melyek egyike a felület irányában, másika pedig rá merőlegesen működnék, s az első a molekült a felület irányában lefelé huzná. Egyensúly csak akkor állhat be, ha a nehézségi erőnek a felület irányára eső része semmi, vagyis, ha a felület a nehézség irányára merőleges, a mint ezt a mindennapi tapasztalat mutatja.

45. ábra.



46. ábra.



Oszszuk fel az egész folyadékot végtelen csekély vastagságú vízszintes lapokra (46. ábra). A felsők az alsóbbakra nyomást gyakorolnak, ép úgy, mint az előbb felvett súlyos dugasz. De minden lap

egész vastagságában a nyomás állandónak vehető fel, a mi az egyes lapok végtelen csekély vastagsága mellett, ama föltételt is foglalja magában, hogy e miatt súlya elenyésző csekély. Tehát arra vezettetünk, hogy minden vízszintes lap MN, mint egy súlytalan folyadék részének tekinthető, mely egy fölötte álló állandó sűrűséggel biró oszlop súlya által nyomatik; tehát tökéletesen valósítva van az előbb képzelt súlyos dugasz. — Ismételjük tehát az előbb talált eredményeket :

1) A nyomás az MN rész egész kiterjedésében állandó.

2) Ha e részben bár hol képzelünk egy felület-elemet, vízszintesen, függélyesen vagy rézsútosan, annak belsejében vagy felszinén a rágyakorolt nyomás mindig ugyanaz.

3) A folyadék belsejében képzelt minden felület két oldala egyenlő, de ellenkező irányú erő nyomásának van kitéve.

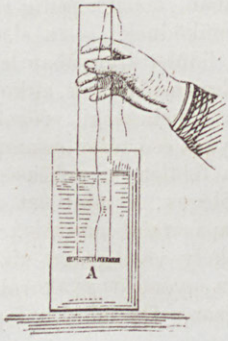
4) Minden felület-elem PP' oly nyomásnak van kitéve, mely a felette álló folyadék oszlop súlyával egyenlő; vagyis oly oszlop sulyával, melynek alapját a felvett felület-elem, magasságát pedig eme felület-elem távola a folyadék felszinétől képezi.

5) Minthogy egy súlyos dugasz által gyakorolt nyomás saját felületétől független, és itt ilyen dugasz súlyos lapok által van helyettesítve : a nyomás az egyes lapok méreteitől független; következőleg a nyomás állandó marad akkor is, ha az edény kitágul, vagy szükebb lesz; ha egyenes vagy görbe; s általában akár mily alakkal birhat, csak a folyadék magassága maradjon ugyanaz; végre

6) ha ehhez még egy kivülrül gyakorolt nyomás is járul, ez egyenletesen fog tovább származtatni, úgy, hogy az általa kifejtett nyomás a felület nagyságával aránylagos lesz, mely nyomáshoz még a nehézség által gyakorolt hatás is járul.

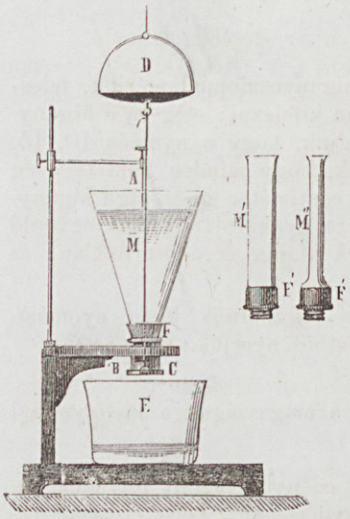
2. **Kisérleti bizonyítékok.** — Az előbb 4-nek felsorolt következtetést, hogy a folyadékba mártolt lap két oldalára gyakorolt nyomás egyenlő, azt következőkép bizonyithatjuk be. Széles üvegcső alsó nyilását fonallal odaszorított kártyalappal látjuk el (47. ábra); e készüléket vízbe mártván, azt tapasztaljuk, hogy alapja akkor sem esik le, ha a fonalat neki is eresztjük; miből önkényt következik, hogy azt egy alulról felfelé ható nyomás szorítja a csőhöz. A nyomás nagyságának megmérésére óvatosan vizet öntünk a csőbe; a midőn azon tapasztalatra jutunk, hogy a csőbe öntött vízoszlop az A fenéklapot csak akkor szorítja le, ha magassága a külső edényben foglalt víz felszinén felül emelkedett. Az alsó lapra gyakorolt nyomás tehát épen akkora, mint azon vízoszlop súlya, melynek alapja a nyomott lap, magassága pedig annak a víz felszinétől mért távola.

47. ábra.



Az 5-dik következtetés, hogy az edény alapjára gyakorolt nyomás az edény alakjától, s így a víz mennyiségétől független, nagy feltünést okozott, úgy hogy Boyle (1664-ben) hydrostatikai paradoxon-nak nevezte el e tételt. Pascal és Haldat e tételt kisérletileg következőkép bizonyitották be.

48. ábra.

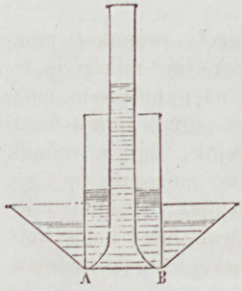


Pascal készüléke egy üvegedényből, (M) áll (48. ábra), mely alsó részén fémhengerben végződik, s mozgékony, jól ráillő fenéklappal (CB) bir; ez egy mérleg csészéjére D-re van függesztve és a kisérlet előtt ellensúlyozva. Azután a mérleg másik csészéjére még Q súlyt teszünk, miáltal a fenéklap a hengerhez szorul. Ha most vizet öntünk az edénybe, a fenéklapra gyakorolt nyomás mindinkább növekszik, mig a víz bizonyos magasságánál a fenéklap leszakad, és a víz az E edénybe ömlik. A folyadék magasságát, azon pillanatban, midőn az egyensúly felbomlott, megjegyezzük az A mozgékony csúccsal. Az által, hogy az M edényt más alakú M' M'' edényekkel helyettesitjük, meggyőződhetünk arról, hogy a fenékre gyakorolt nyomás független az edény alakjától; továbbá azt találjuk, hogy a Q súly, mely a fenéklapra gyakorolt nyomással egyensúlyt tart, egyenlő a fenéklapon álló vízhenger súlyával.

Haldat oly készüléket szerkesztett, melynél az egyensúlyt fentartó súlyokat egy higanyoszlop pótolja.

Ezekből következik, hogy ha 1 kilogramm vizet olyan hengeralakú edénybe öntünk, melynek alapja AB 1 négyszögdeciméter (49. ábra), úgy a víz épen egy deciméter magasságra fog emelkedni

49. ábra.



és a fenékre gyakorolt nyomás egyenlő lesz a víz súlyával, vagyis 1 kilogrammal. Ha azonban az edény annyira kitágulna, hogy a víz csak 1 centiméter magasságra emelkedhetnék, akkor a fenékre gyakorolt nyomás csak 10 kilogramm lenne. Dacára a nyomás e különbözőségének, ha a készüléket mérlegre teszszük, annak súlyát mindig ugyanannak találjuk, a víz súlya mindig egy kilogramm lesz. Közelebbről vizsgálva, e különbség okát abban találjuk, hogy előbb tisztán a fenékre gyakorolt nyomást mértük, a mérlegen pedig az összes nyomás függélyes eredőjét mérjük.

3. **A nyomás mérése.** — Valamely A felületre, a folyadék által gyakorolt P nyomás mindig oly oszlop súlyával fejezhető ki, melynek alapja a nyomott A felület, magassága h a folyadék színének távolsága a felülettől, és fajsúlya s a folyadék fajsúlya, ugy, hogy

$$P = Ahs.$$

A nyomás nagyságának kifejezésére szükségtelen azt bizonyos A felületre vonatkoztatni, rendesen a felület egységére gyakorolt nyomást tekintjük:

$$p = hs.$$

Minthogy a nyomást legtöbbször higanyoszloppal mérjük, felesleges a higanyt megmérni és grammokban kifejezni; elég ha a higanyoszlop magasságát tudjuk. Ha azt mondjuk, hogy a nyomás 10, 15, 20 centiméter higany, ez alatt azt értjük, hogy minden felületegység oly nyomást szenved, mintha 10, 15, 20 centiméter magasságu higanyoszlop állana rajta; és bármily felületre gyakorolt nyomás egyenlő lesz oly higanyoszlop súlyával, melynek alapja az adott felület, és magassága 10, 15, 20 centiméter.

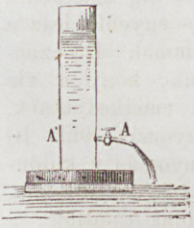
Bármily más folyadékoszloppal is fejezhetnők ki a nyomást, melynek magasságát a következő egyenletből nyerjük:

$$Ahs = AHS$$

hol S az új folyadék fajsúlya. Tehát a magasságok a fajsúlyokkal fordított arányban vannak.

4. **Hatás és ellenhatás.** — Az edénybe foglalt folyadék annak oldalaira nyomást gyakorol, mely nyomásokat, belső erőrendszernek tekinthetünk, minek következtében az egész edény folyadékjával ezen erők hatása alatt mozgásba soha sem jöhet. Hogy ha tehát úszó parafára vízzel telt edényt helyezünk (50. ábra), akkor az megáll ott, a hová helyeztük, dacára annak, hogy az edény minden oldalára működik erő. Mert a milyen hatást szül a nyomás az egyik oldalon, olyan ellenhatás keletkezik a másikon.

50. ábra.



Láttuk azonban, hogy a test egyes része belső erői hatása alatt mozgásba jöhetnek, de mindig akkép, hogy a mozgásmennyiségek két-két ellentétes irányban egyenlők, minthogy ugyanazon erő idézi elő a két irányban való mozgást.

Valamint álló vízre helyezett csónakot mozgásba hozni nem vagyunk képesek, bár mikép is feszítsük belső falait, úgy előbbi edényünk sem mozdul az úszó parafával. De ha a csónak fala a feszítésnek enged és egy részét kilökjük, úgy a csónak többi része ellenkező irányban fog mozogni, ép úgy, mint az ágyú vissza csap, ha belőle a golyót kilőjük. Ebből világosan látható, hogy a csónakot vezethetnők az által, hogy belérakott köveket kidobunk; a dobás alatt a támaszul szolgáló csónakot visszafelé lökjük. Térjünk már most át úszó edényünkre. Mi történik, ha

az A-nál alkalmazott csapot megnyitjuk és a vizet kifolyni engedjük? Nyilván való, a többi tömeg ellenkező irányban fog mozogni, és pedig oly sebességgel, hogy mozgásmennyisége egyenlő lesz a kifolyó víz mozgásmennyiségével.

51. ábra.



Ezen elven alapszik Segner kereke. (51. ábra.) Ez egy vízzel telt edény, mely függélyes tengelye körül foroghat s alul két vagy több végén meggörbített csővel van ellátva. Mig a víz ezeken át folyik, az alatt a kerék tengelye körül forog.

III. Archimedes elve.

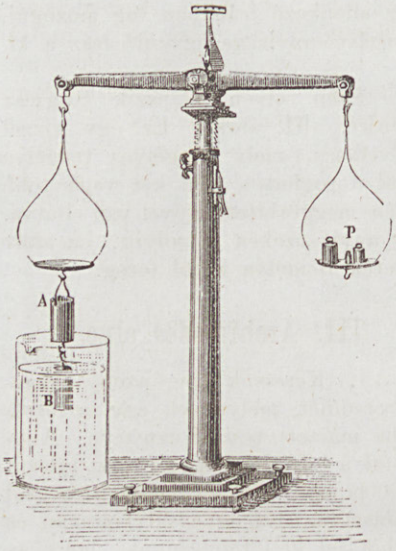
1. Keressük meg azon nyomások eredőjét, melyeknek egy, a folyadékba mártott test ki van téve. Képzeljünk a folyadékban egy részt tetszőleges lapok által az egész tömegtől elválasztva. Ez egyensúlyban van és súlya dacára sem sülyed alá. Tehát fel kell tételeznünk, hogy az ezt körülvevő folyadék ellenhatása épen lerontja annak súlyát; vagyis, hogy a rá gyakorolt összes nyomások eredője egyenlő, de ellenkező irányú súlyával. Minthogy ezen eredmény független a kiválasztott rész felületétől, és a folyadékba mártott idegen testre gyakorolt nyomások eredője épen nem függhet annak minőségétől; szükségkép következik, hogy minden folyadékba mártott testre gyakorolt nyomás eredője egy alulról felfelé irányzott függélyes erő, melynek nagysága, a test helyéből kiszorított víz súlya által van adva; vagyis, a folyadékba mártott test annyit veszit súlyából, a menynyit a helyéből kiszorított folyadék nyom.

E törvényt felfedezőjéről Archimedes-törvény-nek nevezzük.

Mint Vitruv meséli, e kérdés tanulmányozására alkalmat nyujtott azon körülmény, hogy Hiero Siracus királya aranykoronát készittetett, melynek művészét azzal gyanusította, hogy rosszabb aranyat használt, mint milyenért fizettetett magának. A király azért felszólította Archimedes-t, vizsgálná meg valamely módon a korona aranytartamát, természetesen úgy, hogy a művészileg készített koronát el ne rontsa. Sokáig eredmény nélkül törte e feladaton fejét a nagy természetbuvár, míg egyszer fürdés közben azt tapasztalta, hogy teste a vízben sokkal könnyebb, mint a vizen kivül; e súlyveszteséget tüzetesen tanulmányozván, a fönnebbi törvényt nyerte, melynek segítségével a korona fajsúlyát meghatározta, a miből aztán aranytartamát kiszámithatta.

Archimedes elvének kisérleti bebizonyitására az A üres rézhengert használjuk (52. ábra), melyet B tömött fémhenger épen kitölt. Az üres hengert egy mérleg csészéjére függesztjük, és erre ismét a

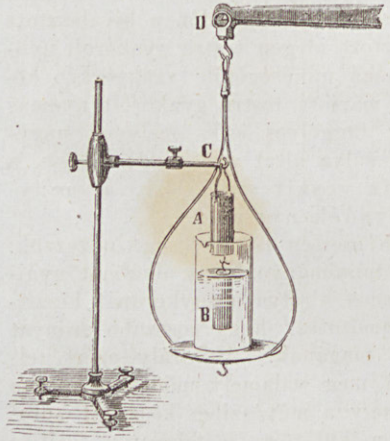
52. ábra.



tömött hengert. Miután a mérleg másik csészéjére tett súlyok által az egyensúlyt helyreállítottuk, a tömött fémhengert vízbe mártjuk. Azonnal felbomlik az egyensúly, és a henger emelkedik. Ez tehát egy alulról felfelé működő nyomásnak van kitéve, melynek megmérésére az A hengerbe vizet öntünk; a midőn tapasztaljuk, hogy az egyensúly csak akkor áll helyre, ha a henger vízzel van telve s az alsó henger teljesen a víz alá merült. Ebből látjuk, hogy a felfelé irányzott nyomás egyenlő azon vízmennyiségnek súlyával, melyet a bemártott test helyéből kiszorít.

De mialatt a bemártott test súlyából veszít, a víz súlya egyidejüleg növekszik, és pedig épen annyival, mint a mennyit a test veszített.

53. ábra.



Ennek bebizonyítására az előbbi készüléket szilárd állványra függesztjük (53. ábra), a vizet pedig a mérlegre helyezzük; a mint a henger a vízbe merül, ennek súlya növekszik; az egyensúly akkor áll be, ha az edény vizéből az üres hengert megtöltjük.

Különben is világos, hogy, ha egy vízzel telt edény mellé szilárd testet teszünk a mérleg csészéjére, akkor ép úgy megkapjuk a kettő súlyának összegét, mint ha a szilárd testet a vízbe tennők; ha tehát a szilárd test vízbe mártatván, súlyából veszít, akkor, hogy a két súly összege mégis megmaradjon, szükségkép a víz súlyának ugyan annyival kell növekednie, a mennyit a bemártott test veszített.

2. **Egymás fölé helyezett folyadékok.** — Ha higanyt és vizet egy edényben összekeverünk, keverés vagy rázás által, s azután magára hagyjuk, úgy minden csepp higany, mely a vízbe keveredett, alászáll, míg a vízcseppek, melyek a higanyba keveredtek, felfelé tolulnak, úgy, hogy a két folyadék rövid idő után teljesen szét van

választva. Ha ellenben vizet olajjal keverünk össze, akkor a kisebb sűrűséggel biró olaj fog felfelé szállni; ha pedig mind a hármat keverjük össze, a nyugvás alatt szintén külön válnak és sűrűségök szerint rendezkednek. Könnyen belátható, hogy az elválasztó felület vízszintes sík lesz, mert egy ferde síkon levő molekül egyrészt mozgékonyságánál, másrészt nehézségénél fogva lefelé gördülne.

3. **Úszó testek.** — Ha a folyadékba mártott test sűrűsége a folyadék sűrűségével egyenlő, akkor a test annak belsejében bár hol egyensúlyban marad. Igy például a tojás sűrűsége nagyobb a vizénél, azért ebben alá merül; de kisebb mint a konyhasóval telített oldat sűrűsége, azért ebben úszik, és e kettőnek kellő keverékében mozdulatlanul marad ott, a hová teszszük.

Ha a folyadékba mártott test sűrűsége kisebb a folyadék sűrűségénél, akkor az alulról felfelé működő nyomás nagyobb lévén, mint a test súlya, az emelkedni fog. A mint azonban a folyadékból kiemelkedik, kevesebb vizet szorítván ki helyéből, a víz által rá gyakorolt nyomás is kisebbedik; azon pillanatban, melyben e nyomás egyenlő lesz a test súlyával, beáll az egyensúly. Ennélfogva a kisebb sűrűséggel biró test csak akkor van egyensúlyban, ha annak egy része a folyadékból kiáll, és ha az alámerült rész által kiszorított folyadék súlya egyenlő a test súlyával.

IV. A fajsúly meghatározása.

1. Az Archimedes-féle törvény segítségével a testek fajsúlyait a vízhez viszonyítva igen egyszerű módon határozhatjuk meg; mert adott szilárd testtel egyenlő térfogatú víz súlyát az által nyerjük, ha a test súlyveszteségét a vízben meghatározzuk. Különben igen bajos volna, különösen szabálytalan alakú testtel egyenlő térfogatú vizet lemérni.

A vízbe mártott test súlyveszteségét különböző módon határozhatjuk meg.

Használhatjuk erre azon mérleget, melylyel az Archimedes-féle törvényt bebizonyítottuk (52. ábra). A vízbe merülő henger helyett a megvizsgálandó testet akasztjuk a csészére, és az egyensúlyt nem az üres hengerbe öntött vízzel, hanem a csészére tett számozott súlyokkal állítjuk helyre. E számozott súlyok a testnek levegőben és vízbeni súlykülömbségét adják meg; tehát a testtel egyenlő térfogatú víz súlyát is. Ha e súlylyal p-vel elosztjuk a testnek levegőbeni súlyát P-t, nyerjük a test fajsúlyát.

54. ábra



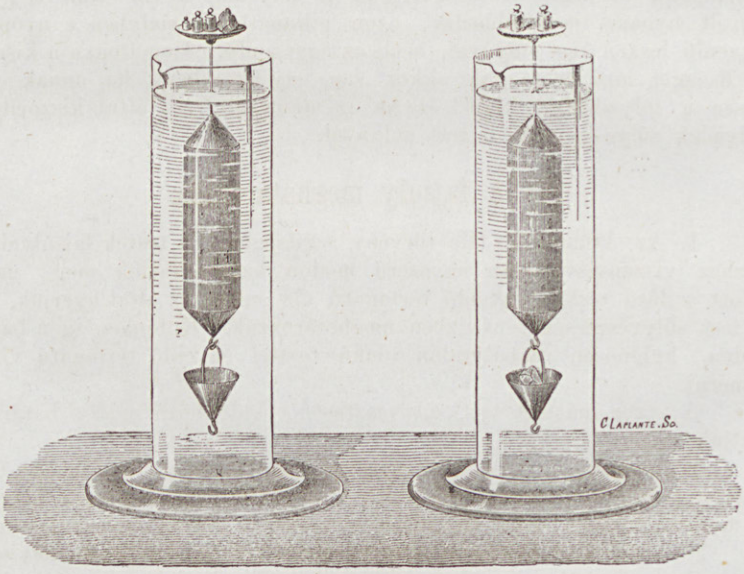
Más módja a sűrűség vagy a fajsúly meghatározásának a következő: Vékony fallal biró szélesnyakú üvegbe egy, belül üres dugaszt illesztünk, mely szűk csövön álló tölcsérben végződik. (54. ábra.) Miután az edényt a tölcsér vékony csövének bizonyos pontjáig zérus fokú vízzel megtöltöttük, azt a kérdéses testtel együtt megmérjük. Ha

ez megtörtént, a testet az üvegbe teszszük, mely a víznek egy részét kiszorítja. Erre az egészet ujra megmérjük, s találjuk, hogy az például p-vel, a test által kiszorított víznek súlyával könnyebb lett. Ha a test súlyát P-t ezen p-vel osztjuk, megkapjuk annak fajsúlyát.

Hogy az edényt a meghatározott jelig pontosan megtölthessük, vízzel telt edénybe mártjuk s a víz alatt dugaszoljuk be, a dugaszt gyengén rászorítván. Azután megszárítjuk, és a fölösleges vizet itatós papiros segélyével eltávolítjuk. Ha a vízbe mártott testtel levegőbuborékok is kerülnének be, akkor az edényt addig hevítjük, mig a víz forrni kezd, miáltal a levegő elszáll.

2. **Aräométerek.** — A gyakorlatban már igen régen használtatnak az aräométer-készülékek, melyeknek Nicholson által adott alakjuk az 55. ábrában látható.

55. ábra.



Egy üres üveg- vagy fémhenger vékony nyakban végződik, mely osztályozva van és melynek felső végére tányér van forrasztva. A henger alsó végére kosárkát függesztünk, mely elég súlyos arra, hogy az egész készülék vízben úszva, függélyes állásban maradjon.

A megvizsgálandó testet a tányérra teszszük, és addig rakunk melléje tárasúlyokat, mig a készülék az osztályzat bizonyos pontjáig sülyed. Ezután a testet leveszszük, és számozott súlyokkal helyettesítjük, míg a készülék ismét az előbbi pontig sülyed; miáltal megmértük a test súlyát P-t a levegőben.

A számozott súlyokat ismét levévén, a testet a kosarkába teszszük, a midőn is azt tapasztaljuk, hogy a készülék nem sülyed az előbb jelzett pontig, hanem ezt csak akkor éri el, ha annyi súlyt rakunk a tányérra, a mennyit a test a vízben veszített. Tegyük fel, hogy p gramm volt szükséges arra, hogy a készülék a jelzett pontig sülyedjen; akkor a test fajsúlya leszen $= \frac{P}{p}$.

E készülék segélyével igen gyorsan nyerhető ugyan meg valamely test fajsúlya, azonban nagy pontosságot nem lehet vele elérni, különösen az edény és a folyadék közti tapadás miatt.

3. **Folyadékok fajsúlyainak meghatározása.** — Itt is három módszert alkalmazhatunk, melyek a három előbbinek felelnek meg.

1) A mérleg egyik csészéjére finom fonal segélyével valamely testet, például üveggömböt függesztünk, melyet egyensúlyozván, a megvizsgálandó folyadékba mártunk. Ezután az egyensúlyt ismét helyreállítjuk, oly módon, hogy a csészébe, mely a gömböt tartja, p súlyt rakunk; s ez lesz a gömbbel egyenlő térfogatú folyadéknak súlya.

A gömb megszárítása után ugyan e műtétet vízben ismételjük; miáltal a p' súlyt nyerjük, mely az üveggömbbel egyenlő térfogatú víznek a súlya. E szerint a keresett fajsúly

$$s = \frac{p}{p'}.$$

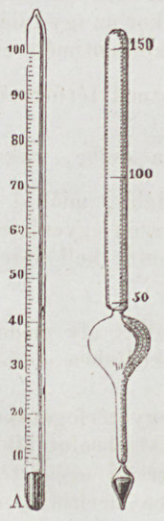
2) Használhatjuk e célra a fönnebb leírt kis palackot, melyet előbb a megvizsgálandó folyadékkal, majd vízzel megtöltve, megmérünk. Az eljárás a fönnebbiből ismeretes.

3) Nicholson aräométerjét szintén lehet e célra használni, csak hogy itt a készülék súlyát Q-t ismernünk kell. Ha az 4 fokú vízben p gramm terhelés mellett sülyed a kijelölt pontig, és a kérdéses 4 fokú folyadékban p' grammal éri el azt, akkor

$$\frac{Q + p'}{Q + p},$$

adja a folyadék fajsúlyát 4 foknál.

56 ábra. 57. ábra



4. **Változó térfogattal biró aräométerek.** — Nicholson aräométerjét mindig ugyanazon mélységre sülyesztjük a folyadékokba, különböző súlyokkal való megterhelés által; ez állandó térfogattal és változó súlylyal biró készülék. A megfordított elvre alapított aräométereket is szerkesztettek, ugyanis változó térfogattal és állandó súlylyal birókat. Ezek részben vagy egészben hengeralakú zárt üvegcsövek, melyek alul higanynyal vagy ólommal vannak megterhelve (55. és 56. ábra). Minthogy ilyen úszó test akkora súlyú folyadékot szorít ki helyéből, mint a mennyit maga nyom, azért az annál mélyebben

merül valamely folyadékba, minél kisebb ennek fajsúlya. Ha valamely folyadék fajsúlya s' és a Q súlyú aräométer benne v' térfogatnyira sülyed alá, úgy $Q = v' s'$; más, s'' fajsúlyú folyadékban például v''-ig sülyed, akkor

$$Q = v'' s''; \text{ tehát}$$
$$v' s' = v'' s'' \text{ és ebből}$$
$$\frac{v'}{v''} = \frac{s''}{s'}$$

vagyis a folyadékokba merült térfogatok a fajsúlyokkal fordított arányban vannak.

A térfogat leolvasására a csövet 100 egyenlő térfogatú részre osztjuk, és a higanyból annyit öntünk be, hogy a cső 4 fokú vízben épen a 100-ik osztályrészig sülyedjen. Ha azután más folyadékban a 80-dik részig sülyed, akkor ennek fajsúlya

$$s = \frac{100}{80} = 1{\cdot}25$$

E készüléket, minthogy vele térfogatokat mérünk, térfogatmérőnek voluméternek is nevezik.

A leírt példány az egységnél nagyobb fajsúlylyal biró folyadékokra szolgál. Ha kisebb sűrűséggel biró folyadékokra kívánjuk alkalmazni, akkor a 100-as pontot mélyebbre teszszük, és e fölött rakunk még vagy 50 osztályrészt. S minthogy az 50-en alul fekvő osztályzat alig lel alkalmazást, azért a készülék alsó részének bármily alakot adhatunk; így például az 57. ábrában lerajzolt alak által a készülék sokkal rövidebb lesz.

Az osztályzatot azután ekkép készítjük el: míg a cső nyitva van, annyi higanyt öntünk bele, hogy az 4 fokú vízben előre kiszemelt pontig sülyedjen; ezen pontot 100-zal jelöljük. Ha már most az egész készüléket a higanynyal együtt lemérjük, akkor az így talált n gramm egyszersmind a 100 alatt lévő térfogatot köbcentiméterekben adja meg. Ennélfogva $\frac{n}{100}$ adja egy osztályrésznek térfogatát. Ha már most $50 . \frac{n}{100}$ gramm higanyt öntünk még a csőbe, akkor ez a vízben épen még 50 osztályrészszel sülyed alább, miáltal a 150-nel jelölendő pontot nyertük. Ha a cső nem egészen egyenletes, úgy a higany ki- és beöntése által még több osztáspontot kell keresnünk és végre a készüléket ismét 100-ra beállítanunk.

5. **Alkoholmérő.** — Gay-Lussac az aräométert oly módon osztályozta, hogy az közvetetlenül megadta a kereskedésben előforduló alkoholnak absolut alkohol- és víztartalmát.

E célra különböző keveréket készítünk, úgy, hogy térfogatokra osztott edényekbe öntünk 0·10, 0·20, 0·30 .... 1.00 absolut alkoholt, és azután vizet öntünk rá addig, míg a keverék 1 egész térfogatot tesz. Az aräométert először absolut alkoholba merítjük, és

azon pontot, a melyig sülyed, 100-zal jelöljük. Ezután rendre a keverékekbe merítjük és a sülyedés határára a keverék alkoholtartalmát feljegyezzük, így az előbbi rendben kapunk 10, 20, 30 s a t. Az osztályrészek, melyeket ily módon nyerünk, nem egyenlők; de minthogy nem igen különbözők, azért mindegyikét 10 egyenlő részre osztjuk, miáltal az osztályzat a keverékben tartalmazott absolut alkoholt százalékban adja meg. Igy például, ha az aräométer 25-ig sülyed, akkor e folyadék 25 százalékalkoholt tartalmaz.

Különböző testek fajsúlyai.

A) Szilárd testek.

Platina { nyujtott	23·00	Flintüveg (angol)	3·33
Platina { kalapált	21·36	Rubin	3·13
Arany „	19·36	Üveg, ólomt.	2·89
„ öntött	19·26	„ közönséges	2·49
Ólom „	11·35	Márvány (carr.)	2·72
Ezüst kalapált	10·51	Hegyi jegec	2·69
„ öntött	10·47	Smaragd	2·68
Réz	8·95	Porcellán, chinai	2·38
Sárgaréz	8·39	Porcellán, Sèvres	2·15
Acél	7·82	Konyhasó	2·08
Vas, kalapált	7·79	Timsó	1·71
„ öntött	7·21	Keserűsó	1·66
Ón	7·29	Salétrom	1·62
Horgany, öntött	6·86	Borostyánkő	1·08
Aluminium	2·57	Elefántcsont	1·92
Magnesium	1·75	Csont	1·66
Gyémánt	3·53	Ébenfa	1·19
„ egész	3·50	Hársfa	0·56
Kén	2·03	Fenyőfa	0·48
Phosphor	1·77	Parafa	0·24

B) Folyadékok.

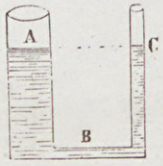
Víz, 4 fokú	1·000	Benzol	0·899
Alkohol abs. 0°	0·807	Faolaj	0·915
„ „ 60° F.	0·794	Tengervíz	1·026
„ 90% és 0°	0·846	Keserűmandolaolaj	1·064
„ 50% „ „	0·945	Salétromsav	1·510
„ 40% „ „	0·961	Kénsav, angol	1·843
Terpentinolaj	0·872	Higany	13·596

V. Közlekedő edények.

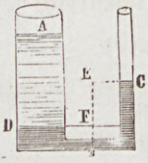
1. Minthogy a folyadék egyensúlya az edény alakjától teljesen független, ennélfogva mind az, a mit a folyadék egyensúlyáról egy edényben mondottunk, a közlekedő edényekre is áll.

Ebből közvetetlenül következik, hogy ha az ABC edényt (58. ábra) egy folyadékkal töltjük meg, ez A-ban és C-ben ugyan azon magasságra emelkedik; mert az egyensúly csak akkor állhat helyre, ha a B csatornában bármely felület két oldala egyenlő nyomásnak van kitéve, s minthogy egyenlő felületekre gyakorolt nyomás csak a fölöttök álló vízoszlop magasságától függ, e magasságoknak kell egyenlőknek lenniök, bármily alakúak is az edény egyes ágai.

58 ábra.



59. ábra.



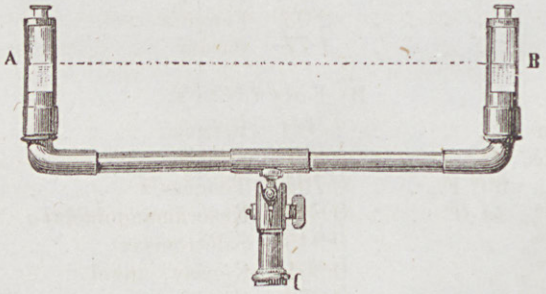
De ha az egyik ágba könnyebb folyadékot öntunk, mint a másikba, így péld., ha CBD (59. ábra) higanyt tartalmaz, és DA vizet, úgy a súlyegyen feltétele ismét: hogy a B felület két oldalára gyakorolt nyomás egyenlő legyen. C oldalról oly nyomást szenved, mely megfelel a BE higanyoszlop magasságának, az ellenkező oldalról pedig olyat, mely BF higany-, és D-től kezdve, egy H magasságú vízoszlopnak felel meg. A két oldalon működő BF magasságú higanyoszlopok egymást ellensúlyozzák; tehát a visszamaradt FE vagy h higanyoszlopnak egyensúlyt kell tartania a DA vagy H vízoszloppal, a mi akkor fog beállni, ha $h \,.\, s = \mathrm{H}s'$, vagy

$$\frac{h}{\mathrm{H}} = \frac{s'}{s}$$

azaz: a két folyadéknak, az őket elválasztó felülettől számított magassága fordított arányban van azok fajsúlyával.

2. **Vízszin-mérő.** — E fontos készülék a közlekedő edények elvén alapszik. Egy fémcsőből áll (60. ábra), melyet körülbelül víz-

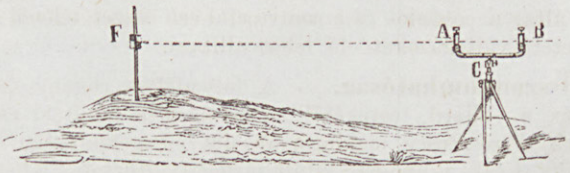
60. ábra.



szintesen állítunk fel egy három lábú állványra. A cső két vége függélyesen felfelé hajlik és egy-egy üvegcsőben (A és B) végződik. A csőbe közönséges vizet öntünk, mely mindkét végben egyenlő magasságra emelkedik. Az üvegcsöveket bedugaszoljuk, de anélkül, hogy a külső levegőt elzárnók. Ilyen készüléket irányzóul használnak a következő módon. Míg valaki a távolban egy osztályzott lécet füg-

gélyesen felállít, az észlelő a két felület irányába néz és kezével jelet ad, a lécre alkalmazott jelzőlap fel- vagy letolására. Ha a jelzőlap a két felület irányába esik, leolvassuk távolát a földszintől (60. ábra). Ugyanezt ismételjük, egy másik helyen felállított léccel;

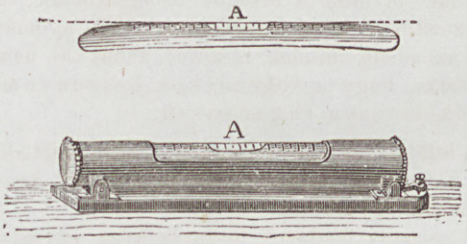
61. ábra.



az itt nyert magasságot az előbbitől levonva, megkapjuk a két hely magasságának különbségét. Ha ezt többször ismételjük, úgy két, egymástól igen messze eső pont viszonylagos magasságát határozhatjuk meg.

3. **Libella.** — E készülék hengeralakú üvegcsőből áll, mely egészen vízzel van megtöltve, kivévén egy kis tért, melyet egy légbuborék foglal el (61. ábra). Ez az A pont körül fog symmetrikusan állani, ha a vízszintes érintő-sík e ponton keresztül megy; mig ha a készülék ferdén áll, a légbuborék oly helyzetet foglal el, hogy középpontja mindig a cső azon pontjába esik, a hol a keresztül menő érintő-sík vízszintes. Hogy ha tehát A ponttól egyenlő részekre osztjuk a csövet, meghatározhatjuk a légbuborék középpontjának távolát A-tól és ez által a sík hajlását. A csövet egy fémtokba foglaljuk.

62. ábra.



Ha meg akarjuk vizsgálni, hogy valamely sík vízszintes-e, akkor e készüléket rézvonalzóra helyezzük, úgy, hogy ennek alsó síkja az A-ra fektetett vízszintes érintő-síkkal párhuzamos legyen. A megvizsgált sík akkor vízszintes, ha a készüléket ráállítván, a légbuborék középpontja A-ba esik.

VI. Cohäsio és adhäsio.

1. **A folyadékok cohäsiója.** — A folyadékok molekületjei közt működő összetartó erő azon törekvésben nyilvánul, hogy részecsei, a mennyire a külső erők engedik, lehetőleg közel egymáshoz szorulnak; azért külön álló csepp gömbalakot vesz fel. Kerek nyilásból eredő vízsugár addig hengeralakú marad, míg szét nem válik.

Plateau a cohäsio tüneményeit igen feltünően mutatta meg, az által, hogy olajat víz és borszesz olyan keverékébe tett, melynek fajsúlya épen egyenlő volt az olaj fajsúlyával. Ekkor az olaj nehézsége ellensúlyozva van a víz nyomása által, úgy hogy a cohäsio-erők szabadon működhetnek. Igy az olajat dió-, sőt tojás nagyságú gömbökben lehet a folyadékban lebegtetni. E gömbök tengelyük körüli forgatása által a cohäsio- és a centripetal-erő összetételéből elméletileg következtetett változásokat elő lehet állítani.

2. **Összenyomhatóság.** — A folyadékok ruganyossága lényegesen eltér a szilárd testekétől, a mennyiben hajlítási és csavarási tünemények, a részecsek majdnem absolut mozgékonysága miatt, nem létesíthetők. Csak a nyomás általi térfogatváltoztatás jöhet itt szóba, mely azonban oly nehezen mutatható ki, hogy a folyadékok sokáig összenyomhatatlanoknak tartattak; igen nagy nyomással csak igen kevéssé szoríthatók össze, és az edény e nagy nyomásnál annyira tágul, hogy a folyadék változása biztosan nem mutatható ki. Canton 1761-ben mutatta meg először teljes határozottsággal, hogy a folyadékok összenyomhatók, az által, hogy azon nyomás, melylyel a folyadékot összeszorította, az edényre kivülről is hatott; e nyomás a levegő nyomása volt. Ugyanis vékony nyilt csőben végződő edényt használt, melyben a folyadék valamivel emelkedett, ha légbura alá téve, ebből a levegőt kiszivattyúzták; a mint a levegőt bebocsátották, a nyomás a folyadékot visszaszorította előbbi magasságaig, de a nyomás ugyanazon hatása működött az edény minden részére, tehát ki nem tágulhatott. Ez által megmutatta, hogy a folyadékok összenyomhatók és nagy határig tökéletesen ruganyosak.

3. **Adhäsio.** — Két különböző test moleküljei közt működő erőt adhäsionak nevezzük. E vonzás bármily halmazatú testek közt érvényesül, ha elég közel hozzuk egymáshoz.

Igy például ha két jól csiszolt fémlapot forgatás közt egymáshoz dörzsölünk, hogy a közéjük szorult levegőtől megszabadítsuk, úgy a két lap annyira egymáshoz tapad, hogy csak tetemes erővel húzhatjuk ismét szét. A tapadás erősebb, ha a testek huzamosb ideig érintkeztek.

Ha üvegpálcát a vízből kihúzunk, vele kevés vizet emelünk ki, mely alul cseppé gyűl össze. E tünemény mutatja, hogy a víztömecsek egymást vonzzák, mert a nehézség dacára nem esnek le; minthogy pedig a csepp inkább elszakad, semhogy az üveget elhagyná: az üveg- és vízmolekülök közt működő vonzás nagyobb, mint a vízmolekülök kölcsönös vonzása.

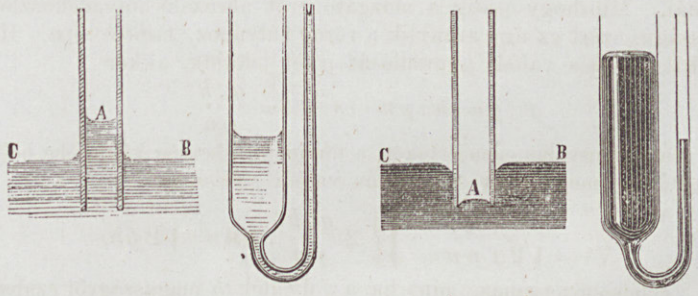
Igy párosul a legtöbb tüneményben a cohäsio és az adhäsio, mely két erő a hajcsövességi tüneményeket létesíti, melyek a közönséges hydrostatikai törvényekkel ellentétben látszanak lenni, de voltaképen ezeket kiegészítik.

4. **A hajcsövesség.** — Ha valamely igen szűk-menetű üvegcsövet, melyet hajcsőnek neveznek, vizbe mártunk, azt tapasztaljuk,

hogy a víz a cső belsejében A-ban (63. ábra) a külső felszínnél, B C-nél magasabbra emelkedik, és ezen emelkedés annál nagyobb, minél szűkebb a cső. A felszín e különbsége oly közlekedő edényekben is mutatkozik, melyeknek egyike tág és másika szűk (64. ábra). Mindazon folyadékok, melyek az üveget megnedvesítik, ugyan-e tüneményt mutatják, míg azok, melyek az üveget meg nem nedvesítik, épen az ellenkezőt; így például a higanyba mártott vékony üvegcsőben a felszín alább száll (65. ábra), és mélyebben áll a közlekedő edények szűk részében (66. ábra).

E tüneményeknél a folyadék felszíne a hajcsövekben sajátságos alakkal bír; t. i. homorú, ha emelkedett, és domború, ha a külső felszínnél mélyebbre süllyedt. E tünemények, melyeket a hajcsövesség tüneményeinek nevezünk, részletes magyarázatába nem bocsátkozhatunk. Legyen elég megemlítenünk, hogy a cohäsio-erők következtében minden folyadék felszinén bizonyos feszültség keletkezik, mely a folyadékra akkép hat vissza, mint ha nyomás gyakoroltatnék rá. E nyomás molekularis nyomásnak neveztetik. Ez nagyobb, ha a folyadék domború és kisebb, ha homorú.

63. ábra. 64. ábra. 65. ábra. 66. ábra.



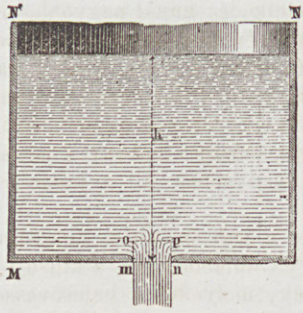
Másrészt a folyadék adhäsioja a belé mártott cső falához majd homorú, majd domború felületet idéz elő; ha ugyanis ezen adhäsio nagyobb, mint a folyadék cohäsiója, úgy a folyadék a falhoz simul és ott kis homorú görbületet képez. Ha a cső oly szűk, hogy a két görbület egygyé olvad össze, úgy homorú felület keletkezik, melynek következménye az, hogy ott a molekularis nyomás kisebb lesz, mint a külső vízszintes felületen: a folyadék tehát magasabbra emeltetik.

Ha a folyadék és a fal közötti adhäsio kisebb a folyadék cohäsiojánál, úgy az ellenkező tünemény mutatkozik.

VII. A folyadékok kifolyása.

1. **Torricelli tétele.** — Ha valamely folyadékkal telt edény M N (67. ábra) fenekén vagy oldalán lyukat fúrunk, úgy a folyadék bizonyos sebességgel folyik ki, mely annál nagyobb, minél magasabb a nyilás fölött a folyadék felszíne. Torricelli 1644-ben fedezte fel

67. ábra.



azon törvényt, mely szerint a folyadék kifolyó sebessége arányos a nyomó magasság négyzetgyökével; vagyis a folyadék oly sebességgel hagyja el a nyilást, mint ha felszínéről szabadon esett volna a nyilásig. E tétel a következő okoskodás utján könnyen belátható.

Tegyük fel, hogy csak a nyilás fölött álló függélyes vízoszlop folynék ki, akkor, ha ennek igen kis része $mopn$ csak saját súlya következtében esnék: op a nyilást

$$v = \sqrt{2g \cdot pn}$$

sebességgel hagyná el; hol g, a nehézség-okozta gyorsulást jelenti.

De az $mopn$ réteg nemcsak saját súlyánál fogva esik, hanem egyidejüleg az egész folyadékoszlop súlya nehezül rá. Ennélfogva az esésnél elért gyorsulás nem azonos a szabadesés gyorsulásával, hanem azon mértékben nagyobb, melyben a mozgató erő nagyobb a pn réteg súlyánál. Minthogy pedig a mozgató erőt ábrázoló folyadékoszlop h magasságú, azért ez úgy aránylik a réteg súlyához, mint $h : pn$. Hogy ha tehát az esés valódi gyorsulását g'-el jelöljük, akkor

$$g' : g = h : pn \quad \text{és} \quad g' = \frac{g \cdot h}{pn}.$$

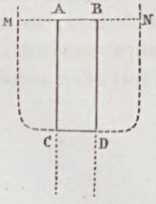
Ha a gyorsulás ezen értékét, a fönnebbi sebesség képletébe helyettesítjük, úgy megkapjuk a kifolyás valódi sebességét:

$$V' = \sqrt{2g'pn} = \sqrt{2\,\frac{g \cdot h}{pn} \cdot pn} = \sqrt{2gh},$$

azaz, a sebesség ugyanaz, mint ha a folyadék h magasságról szabadon esett volna le.

A következő módon is belátható e fontos tétel igazsága. Képzeljük, hogy az ABCD folyadékoszlop (68. ábra) szabadon esik le.

68. ábra.



Ha AB CD-hez ért, akkor $\sqrt{2g} \cdot AC$ sebességgel bír; és ha folytonos hozzáfolyás által a folyadék magassága $AC = h$ állandóan megmarad, akkor valamennyi réteg CD-nél $\sqrt{2gh}$ sebességgel bír. E sebesség ugyanaz marad, ha MCDN edény helyettesíti is a tekintetbe vett oszlopot, mert a mint fönnebb láttuk, ez által a nyomás nem változik.

E tétel fontos következménye az, hogy valamely folyadék kifolyó sebessége egészen független a folyadék minőségétől. Ép úgy mint minden test egyenlő sebességgel esik, és az elért sebesség csak az esés magasságától, úgy minden folyadék kifolyó sebessége, csak a nyomó oszlop magasságától függ. E következtetés nem lesz feltünő, ha meggon-

doljuk, hogy egyenlő nyomó magasságoknál a nehezebb folyadékok tömege ugyanazon arányban növekszik, mint a melyben a nagyobb súly miatt a folyadékoszlop nyomása nagyobbodik.

2. **A kifolyó folyadék mennyisége.** — Ha valamely folyadék kifolyó sebességét és a nyilás keresztmetszetét ismerjük, akkor könnyen kiszámíthatjuk bizonyos idő alatt kifolyt folyadék mennyiségét. Valamely t idő alatt a kifolyt folyadék oly oszlopot képezne, melynek hoszsza $vt = \sqrt{2gh} \cdot t$, és melynek alapja q, a nyilás keresztmetszete. A kifolyt folyadék mennyisége m, ezen oszlop köbtartalmával egyenlő, tehát

$$m = q \cdot t\sqrt{2gh}$$

és ha a folyadék fajsúlyát s-sel jelöljük, úgy a kifolyt folyadék súlya

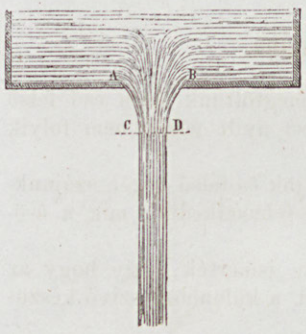
$$p = s \cdot m = s \cdot q \cdot t\sqrt{2gh}.$$

Hogy ha azonban a kifolyt folyadék-mennyiséget valóban megmérjük, akkor azt találjuk, hogy ez mindig kisebb a kiszámított súlynál, és pedig oly mértékben, hogy a talált súly

$$p' = 0{\cdot}62p$$

tehát a kiszámított súlynak nem egészen $^2/_3$-át teszi.

69. ábra.



De egyszersmind azt is tapasztaljuk, hogy a folyadéksugár nem hengeralakú, hanem a folyadék minden oldalról való összetorlódása folytán a nyilás után összeszoríttatik (68. ábra), és az így elért legkisebb keresztmetszetét, C D-t tartja meg állandóan. E legkisebb keresztmetszet, pontos mérések szerint, a fal nyilásának 0·62-ad részét képezi. Ezt kell tehát a folyadékoszlop keresztmetszetéül felvenni, hogy az elmélet megegyezzék a kísérlettel. A nyiláshoz alkalmazott hengeralakú, rövid csövek által a kifolyó folyadék mennyisége növeszthető.

NEGYEDIK SZAKASZ.

A gázok mechanikája.

ELSŐ FEJEZET.

Légkörünkről.

A levegő némely hatása oly szembe ötlő, hogy láthatatlansága dacára, jelenlétét a legrégibb népek ismerték.

Mint már említve volt, Galilei előtti időkben, Aristoteles tanai szentirásként fogadtattak el mindenütt, s így a testeknek nehezekre

és könnyüekre való felosztása is általánosan el volt fogadva. Sőt még verulami Bacon (élt 1560—1626-ig), kinek a tudományok isméti felkarolásában nagy része van, a levegőt azon átmeneti testnek kivánta tekintetni, mely sem nehéz, sem nem könnyű. Azonban megmutatta a levegő azon jellemző tulajdonságait, hogy nagy mértékben összeszorítható, melegítve kiterjed, és lehűtve összehúzódik.

I. A levegő nehézsége.

Galileinek a nehézségről nyert fogalma, mely szerint az a föld vonzó hatásának tulajdonítható, nem volt összegyezhető a testek említett felosztásával. Mert ha a testek esésökben ilyen vonzásnak engednek, nem tehető fel, hogy e vonzás a különböző testekre ne hasson egyaránt. Azért felvette, hogy minden test nehéz, s így a levegőnek is súlyosnak kell lennie. Ezt akkép bizonyította be, hogy megmutatta, miszerint sűrített levegővel megtömött gömb többet nyom, mint ha a levegő benne nincs megsűrítve.

A légszivattyú feltalálása óta e mérés nagy pontossággal hajtatott végre, mi által megállapíttatott, hogy 1 liter levegő súlya 1·293 gramm súlyával egyenlő.

II. Légkörünk nyomása.

1. Ha nem igen tág csövet vízzel megtöltünk és a cső felső végét újjunkkal betartjuk, úgy a víz az alsó nyilt végén nem folyik ki, ha a csövet függélyesen is tartjuk.

Ha a csövet vízzel telt edénybe merítjük és felső végén szájunkkal levegőt kiszivunk, úgy a víz a csőben felemelkedik, mig a csövet egészen betölti.

E tüneményeket a régi görögök már ismerték, úgy hogy az alexandriai Heron külön értekezést irhatott a különböző szivó készülékekről.

E tünemények alapelveül igen helyesen azon tételt állították fel, hogy a természet nem tűri az üres tereket. Helyesnek kell mondanunk ezen alapelvet, mert belőle az akkoriban ismert tények teljesen megmagyarázhatók; habár a legtöbb történetiró e magyarázatot úgyszólván gúnyolva fogadja. Ennek oka leginkább az eredeti fogalmazásban rejlik: hogy t. i. „a természet irtózik a üres terektől.“ Minden esetre elidegenitő kifejezés a természettudományokban, lényegében azonban megadja azt, a mit egy alapelvtől követelnünk kell, hogy egy tüneménycsoportozatot szerves egészszé füzzön össze.

Ma már ezen alapelvet el kell vetnünk, mert egyrészt ismerünk olyan tüneményeket, melyek vele ellenkeznek, t. i. lehet folyadék fölött légüres tért előállítani, másrészt oly alaptétel ismeretére vezettettünk, mely a szivó készülékeken kivül még más tüneményeket is szerves egészszé foglal össze. Ezen alaptétel az, hogy a levegő

súlyánál fogva nagy nyomást gyakorol a földön lévő testekre.

E tény ismeretére Galilei tanítványa Torricelli 1644-ben következőkép jutott.

2. Torricelli felfedezése. — A dugattyús kutak általánosan el voltak terjedve, miután az említett szivókészülékek ősidők óta ismeretesek voltak. Igy történhetett, hogy Galilei idejében egy florenci kertész igen mély kutat ásván, a vizet a szivattyúval nem tudta felhúzni. A kézmüvesek váltig vizsgálták a szivattyút, de hibás szerkezetre nem akadtak. Végre az ország bölcséhez Galileihez fordultak, mondaná meg e feltünő jelenség okát. De Galilei e tünemény láttára nem kevésbbé volt meglepve, mert azonnal tudta, hogy ez oly tünemény, melyet eddig számításba senki sem vett, és mely az uralkodó alapelvvel, hogy a természet irtózik az üres terektől, ellenkezik. Ime monda: van ez irtózásnak egy határa, melyen túl légüres tér származhat. Azzal, hogy légüres tér folyadék felett előállhat, meg volt döntve az alapelv, de Galilei helyébe újat nem állított. Ez tanítványának Torricellinek lőn fenntartva.

Torricelli hallván Galilei tanát a levegő nehézségéről, és hogy a víz szivattyú által 32 lábnál magasabbra nem emelhető: azon gondolatra jött, hogy talán a levegő nehézsége nyomja a külső folyadékot olyan csőbe, melyből a levegőt kiszíjjuk. Hogy ennek igazságáról meggyőződjék, a kisérletet higanynyal ismételte, mely folyadék majdnem 14-szer nehezebb lévén a víznél, 14-szer kisebb magasságra kell emeltetnie.

E magasság a külső folyadék felületétől, valamint a cső szélességétől független; ez a folyadékok már rég ismert egyenlő nyomás elvén alapszik. Tegyük fel ugyanis, hogy a kútban a víz a négyszöglábnyi felülettel bír, a cső keresztmetszete pedig 1 négyszögláb legyen. Ha minden négyszöglábra a levegő súlya p kilogramm nyomást gyakorol, úgy az egész felület ap kgr. nyomást szenved. A cső keresztmetszete a-szor kisebb lévén, a külső ap nyomásból $\frac{ap}{a}$ nyomás esik rá; mely nyomással a csövön átható levegőnyomás p egyensúlyt tart. Ha légüres tért állítunk elő a csőben, úgy a víz az $\frac{ap}{a}$ átszármaztatott nyomással fog a csőbe szoríttatni. — És ha a víz felülete a' négyszögláb, úgy a csőre átszármaztatott nyomás lesz $\frac{a'p}{a'}$, vagyis akkora, mint előbb. — De ha a cső tágabb, akkor a levegő nyomása talán csak rövidebb oszlopot emelhet? Ha a cső kétszer oly tág, akkor benne kétszer annyi folyadék emeltetik fel; de a kivülről átszármaztatott nyomás szintén kétszer akkora; ezen nyomás tehát kétszer annyi folyadékot fog egyensúlyban tartani, a miből világos, hogy a folyadék magassága a tágabb csőben akkora, mint a szükebben.

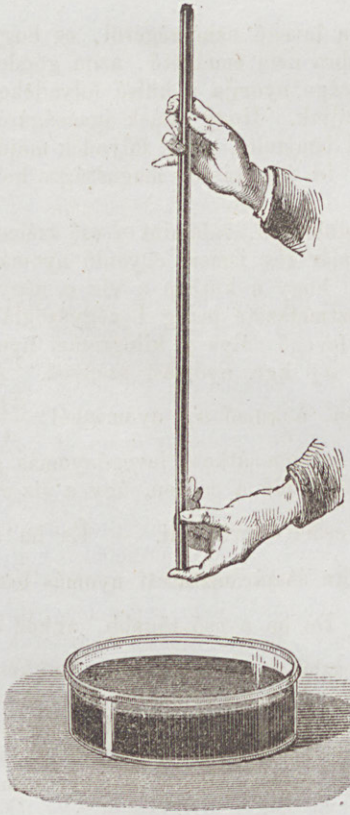
Ebből következik, ha e tüneménynek oka csakugyan a levegő nyomásának eredménye, hogy a víz mindig 32 lábra fog emeltetni; és ha higanyt használunk, úgy ennek mindig $\frac{32}{14}$ lábra kell emelkedni, a miről Torricelli a következő módon csakugyan meggyőződött.

Elég magas üvegcső egyik végét beforrasztotta, és azután higanynyal tökéletesen megtöltötte, nyitott végét újjával betartván, higanyfürdőbe meresztette (70. ábra). Miután újját a nyilástól elvette, a csőben foglalt higany egy része kiömlött, de néhány lengés után, körülbelül $\frac{32}{14}$ lábnyi vagyis 760 milliméternyi magasságban, a külső felszín fölött megállott (71. ábra).

Az előbb mondottak szerint e kisérlet azt mutatja, hogy a függélyes légoszlop súlya, a föld szinétől a légkör határáig, egy 760 milliméter magas higanyoszlop, vagy 32 lábnyi vízoszlop súlyával egyenlő.

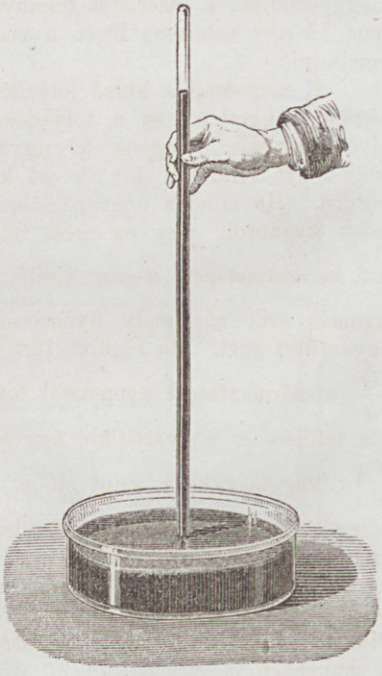
E nevezetes kisérletet Pascal ismételte vízzel, borszeszszel és olajjal, és mindenkor azt találta, hogy az emelt folyadékoszlopok magasságai fájsúlyaikkal fordított arányban vannak.

70. ábra.



E kisérletek mutatják, hogy határozott, majdnem állandó nyomás

71. ábra.



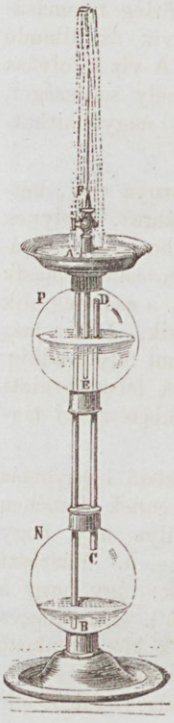
az, mely a szivattyúzást lehetségessé teszi. És hogy e nyomás csakugyan egyedül a levegő súlyától származik, hathatós támaszt nyert Pascal azon tapasztalata által, hogy magas hegyeken, a hol a levegőoszlop valamivel kisebb, mint a föld szinén, e nyomás, és így az emelt folyadék-oszlop is kisebb; teljesen meggyőzők csak a légszivattyúval tett, alább közlendő kisérletek voltak.

Nézzük már most azon tüneményeket, melyek a lég nyomása által eszközöltetnek.

III. A folyadékok légnyomás-okozta mozgása.

1. **Heron palackja.** — Ez egy üvegedény, mely részben vízzel van megtöltve, és szájába légzárólag csaknem fenekéig érő cső van illesztve. A mint a víz fölött lévő levegő nyomása nagyobb a küllegnyomásnál, ez szökőkút módjára hajtja ki a vizet. A nyomáskülönbséget vagy úgy állíthatjuk elő, hogy a palack körül a levegőt megritkítjuk, vagy a víz fölött lévő levegőt belefúvás által megsűrítjük.

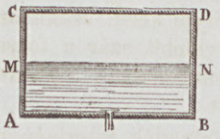
72. ábra.



2. **Heron kútja.** — E készülék A víztartóból áll (72. ábra), melynek folytatását A B cső képezi, s mely utóbbi az N léggel telt üvegedényben végződik. Az A B-ben foglalt vízoszlop, az ezen oszloppal nagyobbított légnyomást, az N-ben foglalt levegőre származtatja át, mely nyomás a C D légvezető cső által a P-ben foglalt víz felszinére hat. E nyomás következtében a víz E F csövön át, körülbelül A B magasságra szökik.

3. **A légnyomás akadályozza a kifolyást.** — Ha egy, minden oldalról zárt edény részben vízzel van megtöltve (73. ábra), és a víz fölött a körlég nyomásával biró levegő van elzárva, úgy az edény fenekén fúrt szűk nyiláson át csak kevés víz fog kifolyni. Mert a víz kifolyása által a belső levegő kiterjed, mi által annyit veszit feszitő erejéből, hogy az A M vízoszlop nyomásával együtt, a külső lég nyomását nem képes legyőzni. Ha a nyilás tág, vagy, ha az edényt megrázzuk, akkor a víz kitér a levegő útjából, minek folytán ez a nyiláson behatol, s a víz ismét kifolyik.

73. ábra.



Ezen alapszik a pipetta (lopó) (74. ábra); ha alsó vége folyadékba van mártva, felső végén pedig kiszívjuk, azaz megritkítjuk a benne lévő levegőt, akkor a külső légnyomás nagyobb lévén a belsőnél, felszorítja a folyadékot. Ha száját ujjunkkal elzár-

74. ábra.

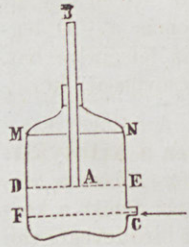


juk, hogy levegő ne mehessen be, a teli lopót kihúzhatjuk s a folyadék nem ömlik ki.

A büvös tölcsér, a büvös palack és az időközi kút ugyan e tüneményen alapulnak.

4. **Mariotte palackja.** — Egy, vizet tartalmazó palack dugaszszal el van zárva, s ebbe az AB cső légmentesen illesztve (75. ábra). Alul C-nél szűk oldalnyilás van alkalmazva. Ha kezdetben a folyadék az edényben és a csőben egyszint van, az e magasságban működő nyomás egyenlő a körlég nyomásával; FC felületre pedig a nyomás NC-vel nagyobb, ennélfogva a víz a C nyiláson kifolyik. De a mint folyni kezd, az edényben foglalt levegő kiterjed, nyomása kisebbedik, miáltal a csőben a felszín sülyed, míg A-hoz ér.

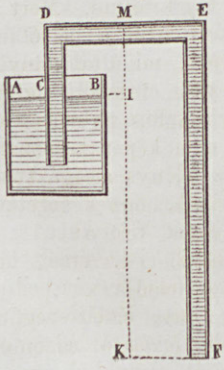
75. ábra.



Eddig a kifolyás sebessége mindinkább lassuló volt; de ezen határon túl megváltoznak a körülmények. Mert a mint a cső víztől ment lesz, a külső levegő a víz fölött lévő ritkább levegőbe hatol, és pedig oly mértékben, hogy a belső levegő nyomása MD vízoszlopéval együtt, a körlég nyomásával tart egyensúlyt. Ennélfogva a víz az állandó EC túlnyomás hatása alatt folyik ki. A víz kifolyása tehát állandó sebességgel történik, mely sebességet, a cső emelése vagy sülyesztése által, nagyobbíthatjuk vagy kisebbíthetjük.

5. **A szivornya.** — A szivornya egy, kétszer meggörbített cső CDEF (76. ábra), melynek rövidebb szárát folyadékba mártjuk, hosszabb szárából pedig, melynek nyilása F alább esik a másik szárénál, a levegőt kiszívjuk, miáltal a cső megtelik a folyadékkal, mely F-nél kifolyik. De ha már egyszer folyni kezd, szakadatlanul folyik addig, mig a rövidebb szár a folyadék felszine alatt van. E tünemény a következőkben nyeri magyarázatát:

76. ábra.



A folyadék felszinén működő légnyomás H a folyadékot CD-be hajtja; ennek ellenében működik a $CD = h$ vízoszlop súlya, úgy, hogy D-nél a nyomás C-től D-felé $H - h$. Másrészt a H nyomás F-nél is működik, úgy hogy a nyomás E-nél $H - h'$ ($EF = h'$). Ennélfogva a DE vízszintesben a folyadék két ellenkező nyomást szenved, melyek különbsége $H - h - (H - h') = h' - h$, mely nyomás D-től E-felé működik.

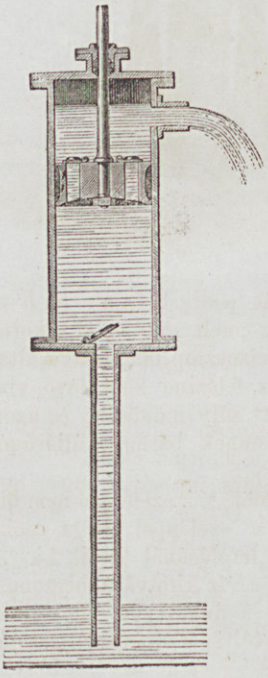
Ha $h' > h$, úgy a folyadék F-nél $h' - h$ nyomás hatása alatt folyik ki, vagyis oly sebességgel, mint ha $h' - h$ magasságról szabadon esnék le. Ha $h' = h$, úgy egyensúly uralkodik, és ha $h' < h$, úgy a folyadék az edénybe ömlik vissza. Ha D E magasabb helyzetet foglalna el, mint a mennyire a külső légnyomás a vizet emelni képes, vagyis ha $H < h$, akkor ott, ép úgy, mint a légsúlymérőnél, légüres tér származnék, s a szivornya nem működnék; valamint nem működik légüres térben sem.

A víz állandó sebességgel folyik ki, ha a szivornyát a vizen úszni hagyjuk, mert akkor az a folyadék felszínével sülyed és a C D magasság állandóan megmarad.

6. **A szivattyúk.** — A szivattyúk oly készülékek, melyek, akár szívás, akár nyomás, akár pedig mindkettő együttes működése által, a vizet alacsonyabb helyről magasabbra emelik.

A szivó szivattyú igen hasonlít az egyszerű légszivattyúhoz. Egy dugattyú, alulról felfelé nyiló, két szeleppel ellátva (77. ábra), légmentesen jár egy hengerben, mely a vízbe merülő szivó csőben végződik. E szivó cső a hengertől szintén egy szelep által van elzárva. A dugattyú fölött a hengerből egy cső vezet ki, melyen a víz kifolyhat. Tegyük fel már most, hogy a dugattyú legmélyebb állásában van, és hogy a szivó cső közönséges sűrűségü levegővel van megtöltve. A mint a dugattyút felhúzzuk, az alatta képződött légritkított tért, a szivó csőből benyomuló levegő tölti be; ha ezután a dugattyút ismét lenyomjuk, a henger és a cső közt lévő szelep bezáródik, a megsűritett levegő pedig kinyitván a dugattyú szelepeit, a felső térbe kerül, s innen a külső levegőbe menekül. A szivó csőben a levegőt igy megritkítván, a külső levegő a vizet feltolja, mig a szelepen át a hengerbe hatol. Ha a dugattyút ismét letoljuk, a víz ennek szelepein át a dugattyú fölé kerül, hol a dugattyúval együtt felemeltetik, és kifolyik. A 77. és 78. ábrák a gyakorlatban alkalmazásban lévő szivattyús kutakat ábrázolják.

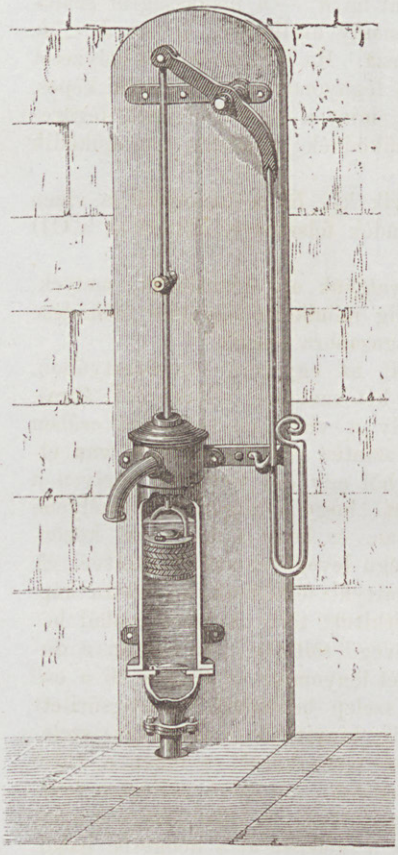
77. ábra.



A szivó cső 10·33 méternél hosszabb nem lehet, mert ilyen magasságú vízoszlop már egyensúlyt tart a légkör nyomásával. Sőt a gyakorlatban még ily magasságú kutat sem szabad alkalmazni, minthogy a dugattyú és a szelep között levegővel telt *ártalmas tér* marad, melynek nyomása az emelt vízoszlop nyomásával összegeződik.

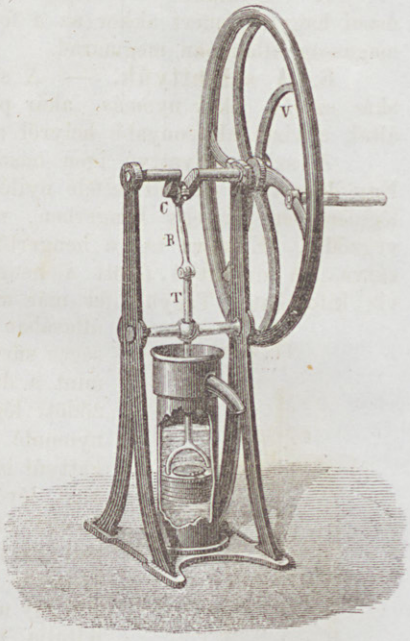
A dugattyú felhuzásánál emelt súly, eltekintve a dugattyú súrlódásától és súlyá-

78. ábra.



tól, egyenlő azon vízoszlop súlyával, melynek alapja a dugattyú felülete, magassága pedig a kifolyás pontjának távola a víz felszinétől. Mert a felülről a dugattyúra működő nyomás egyenlő a körlég nyomásával (H), és a dugattyú fölött álló víz-

79. ábra.

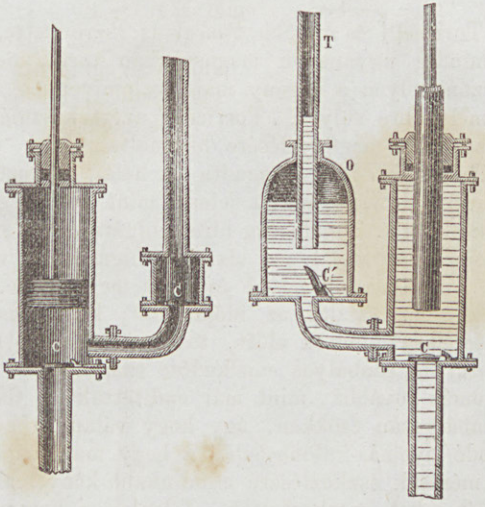


oszlop súlyával h; az alulról működő nyomás pedig $H - h'$, ha h'-el jelöljük a dugattyú távolát a víz szinétől. Az emelt súly tehát e kettő különbsége $H + h - (H - h')$, vagyis $h + h'$ vízoszlop magassága által van adva. A dugattyú felső állása és a víz felszine közt lévő vízoszlop e szerint mint a dugattyúra függesztett súly működik; és azon erőt, melyet a dugattyú felemelése igényel, ennek bármely állásánál ugyanaz.

A nyomó szivattyúnál a dugattyú tömör, t. i. szeleppel nem bír (80. ábra), hanem a c-n áthatoló vizet egy, c' szeleppel elzárt csőbe szorítja. Ezen esetben a víz csak a dugattyú letolásánál folyik ki. A 81. ábrában látható O edény alkalmazása által, a víz kifolyása folytonos.

E gép működése a következő: mialatt a dugattyút felemeljük, a víz a C szelepen áthatol és a hengert megtölti; a dugattyú letolásánál a C szelep bezáródik, és a víz a C' szelepen át az O edénybe

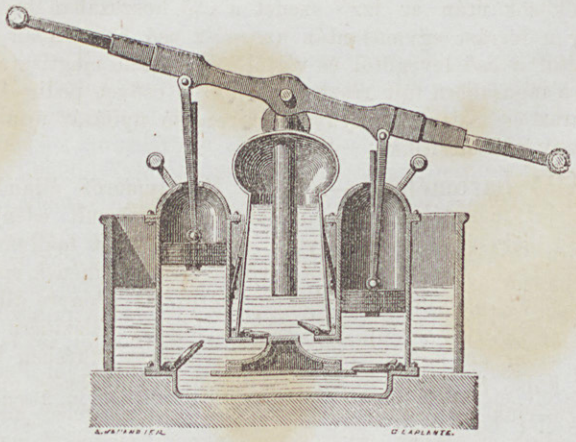
80. ábra. 81. ábra.



nyomul, melyben a levegőt összeszorítja. Az így összeszorított levegő a vizet a T csövön áthajtja, a honnan kifolyik. Mielőtt azonban az O-ban elzárt és összenyomott levegő ismét egészen kiterjedhetne, már új vízmennyiség nyomul be és a levegőt ismét összeszorítja, miáltal a víz kifolyása folytonos.

Ehez hasonló szerkezetű a vízi fecskendő (82. ábra). Két dugattyú felváltva a vizet egy közös edénybe szorítja, miáltal a levegő ott összesűrűl és a vizet a közepén alkalmazott csövön kihajtja.

82. ábra.



IV. A barométer.

1. Már Torricelli és később Pascal is észre vette, hogy a légnyomás nem mindig ugyanazon magasságban tartja meg a higanyt, hanem ugyanazon helyen a higany majd valamivel magasabbra emelkedik, majd mélyebbre sülyed. Torricelli azért készülékét a légköri nyomás változásának megfigyelésére használta, de e munkálataiból 29 éves korában 1647-ben elragadta a halál. Készülékét Barométer-nek nevezték, a mi annyit jelent, mint nehézségmérő.

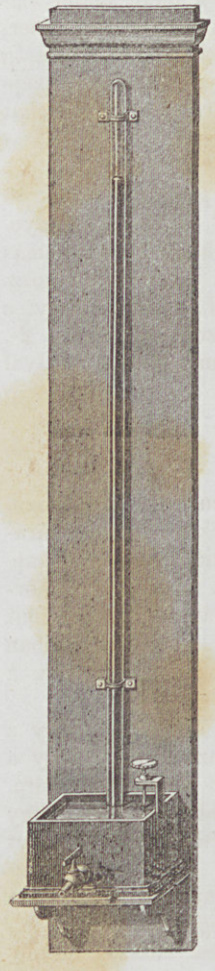
Guericke Otto, Magdeburg híres polgármestere szintén tapasztalván a légnyomás változását, azt vízzel (a higanynyal való kisérletet alkalmasint még nem ismerte) több éven át megfigyelte. A vízoszlop állását összefüggésben találta az időjárással; különösen feltünő volt annak sülyedése nagy viharok előtt, továbbá esős idő előtt és még inkább eső alatt; és szabályos emelkedése szép időben.

A légnyomás továbbá, mint már említettük, a földszíntől való távolsággal szabályosan csökken, úgy hogy valamely hegy talpán és csucsán uralkodó nyomás-különbségből a hegy magasságát lehet meghatározni. E mérések eszközlésére mindinkább kényelmesebb és tökéletesebb barométereket szerkeztettek. Jelenleg a barométerek következőkép készülnek.

2. **A barométer készítése.** — Veszünk egy, tiszta üvegből készült, egész hoszszában egyenletes csövet, azt forró salétromsavval kimossuk és lepárolt vízzel kiöblítvén, megszáritjuk. Egyik végét beforrasztjuk és a másik végéhez közel a csövet tágasabbra kifújjuk. Erre salétromsav által tökéletesen tisztított higanynyal megtöltjük. A higany közé szorult levegő és nedvesség eltávolítására a ferdén felállított csövet izzó szénnel veszszük körül, mi annak mérsékletét körülbelül 300°-ra emeli. A cső alsó részét egészen befödjük az izzó szénnel, minek folytán ott a higany csakhamar forrni kezd; néhány percnyi időközök után az izzó szenet a cső hoszszában tovább viszszük, s így a forrást egymás után az egész cső hoszszában eszközöljük. Ez által a cső levegőtől és víztől tökéletesen megtisztul. A lehűlés után a tágasabbra fújt részt levágjuk, a csövet pedig épen megtöltjük száraz és meleg higanynyal, mire alsó nyilását újjunkkal betartva higany alá meritjük.

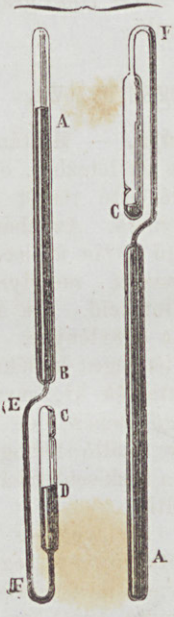
3. **Álló barométer.** — Ha a légsúlymérőt állandóan egy helyen akarjuk használni, úgy öntött vasból készült edényt alkalmazhatunk, melyet a csővel együtt egy befalazott faállványra erősítünk (83. ábra). Hogy a csőben lévő higany felszinének magasságát a külső felszíntől pontosan le lehessen mérni, az edényre alkalmazott és hegyben végződő csavart pontosan a higany felszinére állítunk, ezt addig csavarván, míg hegye összeesik a higany tükrében képződött képpel. A külső és belső higanyszín közötti különbség meghatározására megmérjük az oszlop magasságát a csavar felső síkjától, és ehez hozzáadjuk a csavar egyszer-mindenkorra megmért magasságát.

83. ábra.



4. Gay-Lussac-féle barométer. — A helyett, hogy a csövet egy különvált edénybe mártanók, azt meghajthatjuk, úgy hogy alsó része edényül szolgálhat. Gay-Lussac szerkesztett először ilyen légsúlymérőt. E célra egy hengeralakú egyenletes csövet választott és azt két részre vágta. Az egyik rész AB (84. ábra), a légsúlymérő felső részét képezte, míg a másik, CD az edényt helyettesítette. E kettőt vékony cső (EF) kötötte össze, mely oldalt meg volt hajtva azon célból, hogy CD AB meghosszabbításába essék. A külső levegő C-nél alkalmazott kis nyiláson hatol be, melyet úgy létesítünk, hogy a cső ezen részét a lámpán történt meglágyítás után fémhegygyel benyomjuk. Minthogy az észlelet alatt a higany két felszine egyenlő átmérőjű csövekben van, azért a hajcsövesség befolyása magasság-különbséget nem létesít.

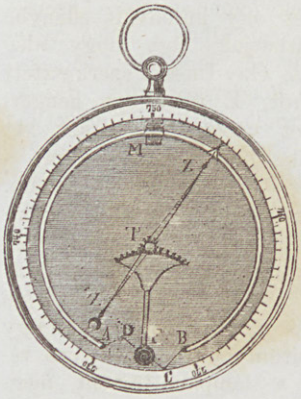
84. ábra.



E készülék könnyen szállítható, mely célból lassan felfordítjuk, miáltal a higany két részre oszlik: az egyik megtölti az AF szárat, míg a nyilás mellett annak fenekére esik. Igy a készülék tovább szállítható, és ha megfordítjuk, ismét eredeti állapotába tér vissza.

5. Aneroid-barométer. — Valamely vékony rézlemezből készült, köralakulag meggörbített s két végen zárt cső görbülete nagyobbodik vagy kisebbedik, a szerint, a mint a minden oldalról egyenletesen rá működő nyomás nagyobbodik vagy kisebbedik. E tapasztalatot Bourdon egyszerű és igen kényelmes barométer készítésére használta fel, melyhez folyadék nem kell; ezeket Aneroid-barométereknek nevezték el. A légüres cső (85. ábra) M-nél meg van erősítve, A- és B-nél pedig szabad; növekedő légnyomással A és B végek közelednek egymáshoz, miáltal ADCB szögemelő F tengely körül forog. E mozgást a fogazott ív követi, mely a T kereket és ezzel a rajta megerősített mutatót forgatja. Az osztályzat higanylégsúlymérővel való összahasonlítás által készül.

85. ábra.



6. **A nyomás értéke.** — A barométerállás változásainak okait alább fogjuk tanulmányozni, itt legyen elég ismernünk, hogy a tenger szinén 45° szélesség alatt a higanyoszlop magassága középértékben 760 milliméter. A nyomás tehát egy négyszögcentiméterre $76 . 13{\cdot}59 = 1033$ grammnyi tömeg súlyával.

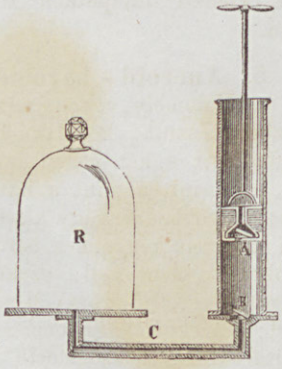
A légkör e középnyomása gyakran egységül vétetik fel. 2, 3, 4 légköri nyomás alatt azt értjük, hogy azon nyomás 2-, 3-, 4-szer 760 mm. magas higanyoszloppal tart egyensúlyt, vagy, hogy a nyomás minden négyszögcentiméterre 2-, 3-, 4-szer 1033 grammnyi tömeg súlyával egyenlő.

V. A légszivattyú.

1. **Guericke légszivattyúja.** — Miután Guericke meggyőződött, hogy a természetben légüres tér létezhet, ennek előállításán fáradozott. E célra vízzel telt hordó alsó részét tüzifecskendővel kapcsolta össze, és a vizet kiszivattyúzta. Azonban a mint a víz a hordóban alább szált, a külső levegő a fán át beszivárgott; azért fönt csappal ellátott rézgömböt alkalmazott, melylyel a kisérlet annyiban sikerült, hogy légritkított tér állott elő. Ha a csapot kinyitotta, a külső levegő nagy erővel tódult a rézedénybe.

Jellemző, hogy Guericke lényeges kelléknek tartotta, hogy a levegő az edény alján szivattyúztassék ki, mert azt tudta, hogy a levegő nehéz, de azt még nem tudta, hogy önálló térfogattal nem bír, hogy t. i. a legkisebb mennyiség az egész edényt betölti.

86. ábra



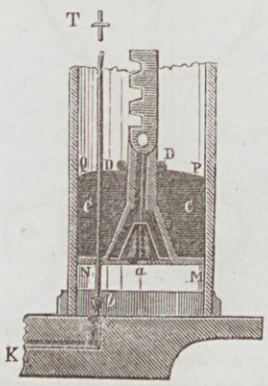
A levegő e tulajdonságát csak a következő gép segítségével ismerte fel, melynek megszerkesztése hosszas fáradozás után 1650-ben sikerült neki. Gépét „Luftpumpe“ légszivattyúnak nevezte.

Guericke légszivattyúját némi módosítással a 86. ábra mutatja. Áll egy dugattyús hengerből, melynek dugattyúja át van furva, és a nyilás egy, alulról felfelé nyiló szeleppel (A) elzárva. A henger alján ismét egy szelep (B) van alkalmazva, mely az előbbivel egyenlő irányban nyílik, és arra szolgál, hogy a (C) csatornát — mely azon burával áll összeköttetésben, melyből

a levegőt ki akarjuk szivattyúzni — időnként bezárja és kinyissa. A mint a dugattyút felhúzzuk, a külső lég nyomása az A szelepet bezárja; az AB térfogat nagyobbodik, mi által a belső nyomás kisebbedik, és a burában foglalt levegő nagyobb nyomása következtében felnyitja a B szelepet és a hengerbe ömlik. Ha a dugattyút ismét lenyomjuk, a B szelep bezáródik, miáltal a dugattyú és e szelep közt foglalt levegő összesűrűl, feszitő ereje csakhamar felülmúlja a külső lég nyomását, minek folytán az A szelepet kinyitja és kitódul, s igy a dugattyú egész a henger aljához érhet. Világos tehát, hogy a dugattyú ide-oda járása által a burában a levegő megritkul; s minthogy e műtételt a végtelenségig folytathatjuk, úgy látszik, mint ha a bura levegőjét a végtelenségig lehetne megritkitani.

De könnyen belátható, hogy a levegőt csak addig lehet ritkítani, mig feszitő ereje a B szelep ellentállásával egyenlő, mert ezen határon túl nem képes a hengerbe nyomulni. A ritkithatás eme határát a következő szerkezet által lehet kiterjeszteni.

87. ábra.



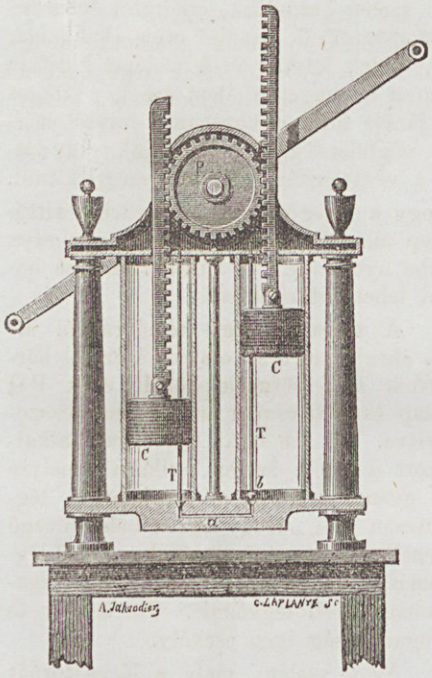
A dugattyú egy fémdarabból áll (87. ábra), melyet olajjal átázott börszeletek CC vesznek körül, ezek PQ fémlap és DD csavar által vannak összeszorítva. A fémdarab belsejében alkalmazott *a* lap a szelep nyilását, melyre egy gyenge rugó által szoríttatik, légmentesen födi. Hogy ezt a belső levegő felemelhesse, feszitő erejének a külső légnyomást, a lap súlyát és a rugó ruganyosságát kell legyőznie. De a súly és a ruganyosság igen csekély.

Azon szelep, mely a K csatornát elzárja, egy, a nyilásba jól illő dugasz által van helyettesitve. Ez egy fémpálcára erősíttetik, mely gyenge surlódással a dugaszon keresztül megy, miáltal a felmenetben a dugasz őt magával viszi, és igy a levegő saját működése nélkül jut a hengerbe. De a mint a fémpálca annyira emelkedett, hogy a csatornát megnyitotta, az a henger felső részébe ütközik és megáll. A lemenetben a dugattyú ismét magával viszi a pálcát, miáltal ez a csatorna nyilását elzárja; a dugattyú a pálca hoszszában halad lefelé. Látjuk tehát, hogy ezen szerkezetnél a bura levegője, bármily gyenge legyen is feszitő ereje, a hengerbe nyomulhat.

2. **Két-dugattyús szivattyú.** — Minél inkább ritkul a belső levegő, annál nehezebb a dugattyút felhúzni, mert a külső lég nyomását — mely 103 kilogrammnyi súlylyal nyom egy négyszögdeciméter felületet — le kell győzni. Ezen kivül a dugattyú letolása az elérendő cél tekintetében elveszett munka. E hátrányok kikerü-

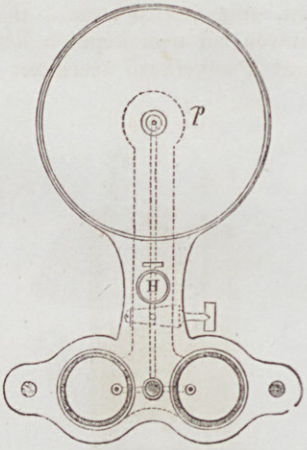
lésére kétdugattyús szivattyúkat szerkesztenek (88. ábra), melyek a közös *a* csatorna által egy burával állnak összeköttetésben (89. ábra). A dugattyúk fogas rudakkal vannak ellátva, melyek egy, emelővel forgatható közös *p* fogaskerék által hajtatnak, úgy, hogy mialatt az egyik emelkedik, a másik sülyed.

88. ábra.



A két dugattyú együttes működése által a hatás kétszeres, és a levegő nyomásának befolyása is majdnem egészen ellensúlyozva van. Ha a két dugattyú alatt a levegő egyenlő sűrű, akkor a külső légnyomás eredője egy, a fogaskerék tengelyén keresztül menő függélyesbe esik, s így annak szilárdsága által lerontatik. Azért a gép egész működése alatt egyenlő munkát igényel.

89. ábra.



3. **A higany-légszivattyú.** — Guerickevel egyidejűleg a florenci akademikusok is tanulmányozták a levegő mechanikai tulajdonságait. Légüres tér előállítására Torricelli kisérletét alkalmazták; — ugyanis a Torricelli-féle cső zárt végét tágas edénynyé kifujták, s miután az egész hiánynyal volt megtöltve, nyilt végét higanyba meresztették; miután a higany az ismeretes magasságig alászállt, a visszamaradt tér majdnem teljesen légüres volt.

E nehézkes eljárást a legujabb időig teljesen mellőzték, habár így sokkal nagyobb mértékben lehet a levegőt ritkitani, mint a szivattyúkkal; azonban 1860 körül egymástól függetlenül Geissler német tudós és Groszmann hazánkfia ezen elvre alapított, célszerűen berendezett gépeket szerkesztettek, melyek ismertetését tér szűke miatt mellőznünk kell.

4. **A légnyomás feltünő hatása.** — Guericke Otto, légszivattyújával számos kisérletet tett, melyekkel a levegő nagy nyomását és kiterjedő törekvését megmutatta.

Igy például megmutatta, hogy 8 ló nem képes széthúzni, két jól lecsiszolt szélekkel egymásra illesztett félgömböt (90. ábra), ha az így származott gömbből a levegőt kiszivattyúzzuk.

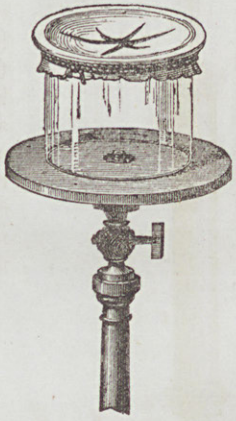
Csakugyan, ha r a centiméterekben adott gömbnek sugara, akkor annak legnagyobb keresztmetszete πr^2, és a légnyomásnak erre merőleges összetevője πr^2. 1033 gramm. Ekkora erő szorítja össze a gömböt mindkét oldalról. Ha $r = 23$ centiméter, akkor ezen nyomás 1718 kilogrammot tesz, míg 4 ló húzó ereje csak 1600 kilogramm.

Ha mindkét végén nyitott üveghengert a légszivattyú tányérjára állítunk, és felső nyilását állathólyaggal légmentesen bekötjük

90. ábra.



91. ábra.



(91. ábra), akkor, a mint a levegőt kiszivattyúzzuk, a külső lég nyomása a hólyagot behorpasztja, míg folytatott szivattyúzás alatt erős csattanással átrepeszti.

Ha nem egészen felfútt, de jól bekötött hólyagot, a légszivattyú burája alá helyezünk, úgy szivattyúzás alatt, a belső levegő nyomása következtében, a hólyag lehetőleg kitágul, míg végre szét is reped.

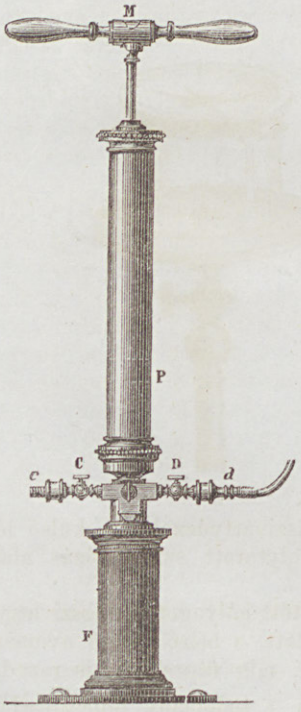
5. **A légsűrítő.** — Boyl, kinek e tudomány fejlesztésében nagy része van, Guericke légszivattyúját sűrítésre is használta. A fönnebb ismertetett gépnél (86. ábra) csak a szelepek járását kell megfordítani és a gép légsűrítő géppé válik. Tegyük fel, hogy az A és B szelepek, fölülről lefelé nyilnak. Ha a dugattyút felemeljük, a hengerben a levegő megritkul, B-t, a burában foglalt levegő nyomása elzárja, és a külső levegő A-n áthatolva, megtölti a hengert. Ha már most a dugattyút letoljuk, a levegő a körlég-nyomásnál nagyobb

feszitő erőt nyervén, lezárja az A szelepet, és kinyitja B-t, melyen át a levegő a burába hajtatik. E műtétet tovább folytatván : minden felhuzásnál a külső levegő egy részét a hengerbe zárjuk, és a letolásnál a burába viszszük. Ily módon a levegőt tetszőleges mértékben sűritjük össze; könnyen belátható azonban, hogy minél nagyobb mértékben sűrittetett már össze a levegő, annál nagyobb erőt kell gyakorolni a dugattyú lenyomásánál, hogy a B szelep kinyittassék.

Ép igy lehetne két-dugattyús légsűritő gépeket alkalmazni, egészen hasonló szerkezettel, mint milyennel a légritkitók birnak.

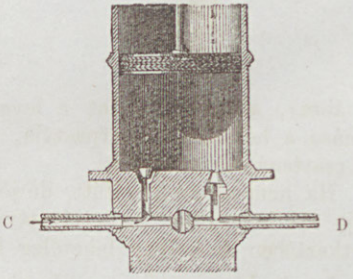
De ezek épen nem volnának célszerűek, mert a sűritésre sokkal erősebb szerkezetű gépek szükségesek. Azért nagyobb előnynyel alkalmaztatnak a következő szerkezetű egy-dugattyús gépek (92. ábra).

92. ábra.



A függélyesen álló dugattyú F nehéz fémtömeghez van erősítve. A szivattyúzó lábával a fémtömeg széles alapját a földhöz szorítja, és két kézzel fogja a dugattyú rúd M fogóját. A henger alján két szelep van alkalmazva (93. ábra). Az egyik C cső által a külső levegővel áll összeköttetésben, melynek nyomása nyitja meg a szelepet, ha a dugattyút felemeljük, a másik lefelé nyílik, és a dugattyú letolása által összeszorított levegő a D csőbe hatolhat. E szerint e készüléket majd sűritésre majd ritkitásra lehet használni. Ha a levegőt sűriteni akarjuk,

93. ábra.



C-t a külső levegővel és D-t azon edénynyel kötjük össze, melyben a levegőt összesűriteni kivánjuk. Ha ellenben a készüléket ritkitásra akarjuk használni, akkor C-t kötjük össze azon edénynyel, melyből a levegő kiszivattyúzandó, a midőn D nyílik a szabadba.

MÁSODIK FEJEZET.

A gázok ruganyossága.

I. A gázokról általában.

A levegőnek megismert physikai tulajdonságai chemiai tanulmányokra vezettek, minthogy ezek által a tudósok részint más gázok létezésére figyelmesekké lettek, részint pedig a levegőt tovább tanulmányozván, chemiai tulajdonságait is megismerték.

Paracelsus ismerte fel először, hogy az erjedésnél a levegőhöz hasonló test fejlődik, mely azonban teljesen különbözik a levegőtől. Tanítványa Helmont használja először a „gáz" elnevezést, a levegőhöz hasonló fluidum megjelölésére.

Igen természetes, hogy a levegőt egyszerű testnek, elemnek tartották; azonban már Guericke megmutatta, hogy egy része az égés által felhasználtatik, és a hátra maradt rész az égést már nem táplálja.

Boyle több gáznemet állított elő, melyek közül a legnevezetesebb azon gáz, melyet a vasnak sósavban vagy higított kénsavban való feloldása által nyert. Továbbá megmutatta, hogy a levegő nem csak az égés által, hanem a lélegzés által is csökken és romlik.

Ezen idő óta a chemiai vizsgálatok tudományos alakot nyertek, melyekből az összes természeti tudományokra, valamint a gyakorlati életre oly nagy befolyású tudomány, a chemia, fejlődött.

Messzire vezetne, ha e tudományt addig követnők, mig a physikai tulajdonságaikra itt megvizsgálandó gázokat megismerték és öntudatosan előállították. Itt legyen elég megemlíteni, hogy Lavoisier megmutatta, hogy a levegő két gáz keverékéből áll, melyeknek a még mai nap is használt neveket adta. Az arányt, melyben az oxygen és nitrogen a levegőben keverve van, Dumas és Boussignault határozták meg a kellő pontossággal, és azt találták, hogy

100 súlyrész levegőben 23 s.-r. oxygen és 77 s.-r. nitrogen van

100 térfogatrész levegőben 20·8 t.-r. oxygen és 79·2 t.-r. nitrogen van.

Mindenkor és mindenütt ezen arányban találjuk a szabad levegőt összetéve.

Ezen alkatrészeken kivül a levegő még szénsavat és vizgőzt is tartalmaz. Vizgőztartalma 0·006 és 0·009-ed rész közt, szénsav tartalma pedig 0·0003 és 0·0009-ed rész közt változik.

Nézzük már most, hogy a chemikusok által előállított gázok ruganyossága milyen törvények szerint változik.

II. A gázok ruganyossága.

1. Torricelli idejében azon nézet volt általánosan elfogadva, hogy légkörünk a föld felületétől szélső határáig egyenlő sűrűséggel

bír, vagyis, hogy a levegő alsó részeit nem nyomja össze. Mióta azonban a légnyomásról egészen tiszta fogalmak alakultak, Bacon pedig másrészt, (mint említve volt) a levegő összenyomhatóságát megmutatta, azóta légkörünk alkotásáról helyesebb fogalmak képződtek. Pascal volt az első, a ki arra figyelmeztetett, hogy a földhöz közelebb lévő levegő-rétegeknek sűrűbbeknek kell lenniök, mint a távolabb lévőknek. A légkörből kivájt levegőoszlopot lazán magasra rakott pamuthoz hasonlította: valamint e pamut alsó része a felsőbb rétegek által összeszoríttatik és ez által tömöttebb lesz, mint a fölső rétegek, úgy történik ez a levegőnél is. Ennek alapján állította, hogy egészen fel nem fújt hólyag igen magas hegyen ki fog dudorodni, mint ha több levegőt szorítottunk volna belé. Pascalt e vizsgálatai közepette elragadta a halál. Azonban a levegő összenyomhatóságának e tana uj lendületet vett a légszivattyú feltalálása által. Guericke légszivattyújával tett első kisérleteiből azonnal felismerte a levegő kiterjedő törekvését és későbbi vizsgálatok mutatták, hogy a levegő és a többi gázok nem csak bizonyos határig terjednek ki, hanem, hogy a gáz legkisebb része mindig betölti az egész tért, melyben el van zárva, vagyis, hogy a gázoknak nem csak önálló alakjuk, hanem önálló térfogatuk sincs.

E határtalan kiterjedő törekvésből az edény falaira működő nyomás keletkezik, melyet a gáz ruganyosságának tulajdonítunk és melyet feszitő erejének nevezünk.

E feszitő erő nagyságának meghatározása képezte már most a phisikusok feladatát.

Boyle megmutatta, hogy a levegőnek legkisebb része, mely a külső légből elzáratik, akkora feszitő erővel bír, mint mikor az összes lég nyomása alatt áll. Ezt megmutatta azon hydrostatikai nyomás által, melyet higanynyal csőben elzárt levegő a higanyra gyakorol. Innen már most csak egy lépés volt azon alaptörvény felfedezéséhez, mely a gázokat jellemzi, és melyet vele majdnem egyidejüleg és tőle függetlenül Mariotte is felfedezett.

2. **A Boyle-Mariotte-féle törvény.** — E két hires experimentator által talált törvény a következő:

Azon V és V′ térfogatok, melyeket ugyanazon légtömeg, állandó mérsékletnél elfoglal, fordított arányban vannak a rá gyakorolt P és P′ nyomásokkal. Vagyis

$$\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P}$$

S minthogy ezen egyenletet ily alakban is lehet irni:

$$VP = VP'$$

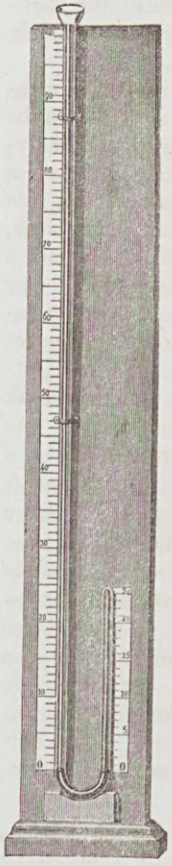
mondhatjuk, hogy valamely adott légtömegnek térfogatából és nyomásából képezett szorzat, mindig ugyanazon számot adja.

Minthogy továbbá minden test sűrűsége fordított arányban van térfogatával, azért, ha d sűrűséget jelent, $\frac{d'}{d} = \frac{P'}{P}$; vagyis ugyan-

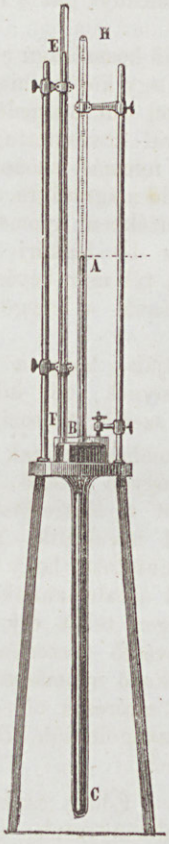
azon gáz különböző sűrűségei egyenes arányban vannak a rá gyakorolt nyomásokkal.

2. Mariotte kisérletei. — Mariotte e törvényt a következő módon találta: egy függélyesen felállított deszkára hosszú üvegcsövet erősített, mely fönt nyitva volt (94. ábra), mig alul meghajtva, fölfelé álló zárt ágban végződött.

94. ábra



95. ábra.



A kisérletet azon kezdte, hogy egy kis mennyiségű higanyt öntött a csőbe, mely 00-nál gyűlt össze, miáltal a zárt ágban lévő levegő, a külső levegőtől elzáratik. A cső térfogatát egy a cső mellé alkalmazott osztályzaton olvasta le. Ezen állapotban az elzárt levegőre gyakorolt nyomás a légkör nyomása, melyet a higany átszármaztat. Ezután a tölcséren át nagyobb mennyiségű higanyt öntött a csőbe. A mint a két ágban a higany magasságának különbsége a légsúlymérő állással egyenlő magasságú volt, az elzárt levegő kétszeres nyomásnak volt kitéve, t. i. két légköri nyomásnak; és azt tapasztalta, hogy térfogatának felére szoríttatott össze. Ezt tovább folytatva, addig öntött a csőbe higanyt, míg a magasság-különbség 2-, 3-, 4-szer akkora, mint a légsúlymérő magassága, azaz míg a nyomás 3, 4, 5 légköri nyomást tett, és azt találta, hogy az illető nyomások alatt elfoglalt térfogatok rendre $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$-ét teszik azon térfogatnak, melyet a gáz egy légköri nyomásnál elfoglal.

Annak bebizonyítására, hogy e törvény azon esetre is áll, ha a nyomás a helyett, hogy növekednék, fokonkint fogy: a HB barométercsövet (95. ábra) BC hosszú edénybe merítette, melyben az tetszés szerint fellebb vagy alább tolható. Oldalt egy másik, mozdulatlan légsúlymérő, EF merült a higanyba. Mielőtt az AB csőbe gázt vezetett, benne a higany ép oly magasságra emelkedett, mint a légsúlymérőben; de a mint levegőt vezetett be, ez a higanyt leszorította,

például A-ig, a midőn AE méri ennek nyomását; míg térfogatát egy, a csőre alkalmazott, osztályzaton olvashatta le. Ha a csövet magasabbra emelte, úgy a benfoglalt levegő kiterjedt, miáltal nyomása kisebbedett. Ily módon végrehajtott kisérletek azt mutatták, hogy a térfogat és a nyomásból képezett szorzat mindig ugyanazon számot adja.

4. **Despretz és Regnault kisérletei.** — Mariotte és Boyle első kisérletei után a természettudósok nagy száma azon kérdés megoldásával foglalkozott, vajjon valamennyi gáz a legnagyobb nyomásig követi-e ezen törvényt.

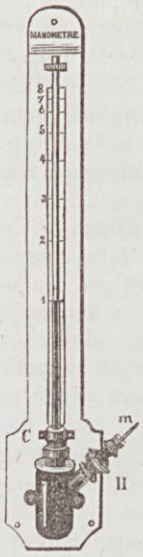
Despretz e célra több egyenlő hosszúságú csövet, melyek a megvizsgálandó gázokat tartalmazták, egy közös, higanynyal telt edénybe merített. Az egész készüléket vízzel telt üvegedénybe helyezte, melyben a víznek nyomását szivattyúval növesztette; ezáltal a higany a csövekbe szoríttatott, azonban a nyomás azonosságának dacára sem emelkedett mindegyik csőben egyenlő magasságra. Szénsav, ammoniak, cyangáz és kénessav nagyobb mértékben nyomattak össze, mint a levegő; a hydrogen pedig, mely 15 légköri nyomásig épen úgy viselte magát mint a levegő, ezen túl már kevésbbé volt összenyomható, mint az; ugyanazon nyomásnál a levegő nagyobb térfogatot foglalt el.

Ezen eredmények azt mutatják, hogy a gázok nem hódolnak tökéletesen a Mariotte-féle törvénynek, sőt inkább mindegyik gáz összenyomhatósága külön törvény szerint változik a nyomással.

A különböző gázok összenyomhatóságának törvényeit Regnault vizsgálta meg, és azt találta, hogy a levegő, nytrogen és szénsav könnyebben összenyomhatók, mint a Mariotte-féle törvény kivánja. Az eltérés általában a nyomással növekedik. A hydrogen a többi gázoktól épen ellenkező eltérést mutatott; hogy térfogata felére összeszoríttassék, nagyobb nyomást kell alkalmaznunk, mint a kezdetleges nyomásnak kétszeresét. A hydrogen tehát oly értelemben tér el a Mariotte-féle törvénytől, hogy kevéssé összenyomható, és az eltérés ily értelemben növekszik is növekedő nyomással. Tökéletesen e törvényt egy gáz sem követi, de az eltérések oly csekélyek, hogy bármily gyakorlati alkalmazásnál elhanyagolhatók, különösen pedig akkor, ha a nyomások nem igen tetemesek.

5. **A gázok keveréke.** — Eddig csak egyetlen egy gázra gyakorolt nyomások hatásait tanulmányoztuk; de könnyű a Mariotte-féle törvényt több gáz keverékére is kiterjeszteni, ha köztök vegyi hatás nem működik. Berthollet e célból a következő kisérletet tette. Két egyenlő térfogatú üveggömb, csappal elzárható összeköttetésben állott egymással. Az egyikét megtöltötte szénsavval, a másikat pedig ugyanazon nyomás alatt álló hydrogennel. A készüléket oly állásba helyezvén, hogy a könnyebb hydrogen a szénsav fölött legyen, a csapot megnyitotta. Dacára annak, hogy ilyetén berendezés által, a nehézség a gázok keverődését elő nem idézheti, néhány óra lefolyta után, a gázok egészen egyenletes keveréke találtatott az

96. ábra.



edényekben, és a kezdetleges közös nyomás állandóan megmaradt. Mindegyik gáz tehát külön elfoglalta az egész tért, mint ha egyedül lett volna jelen, és nyomásaik vagyis feszítő erejök összegeződött. Ezen eredményt a következő módon lehet általánosítani. — Ha v, v', v'' ..... és p, p', p'' ..... azon gázok térfogatai, illetőleg nyomásai, melyeket egy közös V térfogatba keverünk össze, akkor mindegyik külön elfoglalja a V térfogatot, miáltal nyomásuk, a Mariotte-féle törvény szerint kisebbedik. A nyomások tehát rendre $\frac{vp}{V}$, $\frac{v'p'}{V}$, $\frac{v''p''}{V}$ .....; e nyomások összege lesz a keverékek által kifejtett P nyomás, a mi a következő általános összefüggésre vezet:

$$PV = vp + v'p' + v''p'' .....$$

A keverék a nyomás azon határáig követi a Mariotte-féle törvényt, mint az azt képező egyes gázok.

6. **Manométerek.** — A manométerek oly készülékek, melyek a gázok feszítő erejének megmérésére szolgálnak. Ilyen készülék többnyire higanynyal telt üvegedényből áll (96. ábra), melybe fent zárt és belsejében száraz levegőt tartalmazó üveghenger merül. A közép légköri nyomásnál a higany felszine az edényben és a csőben egyenlő magasságban van. Az edény fémtokba van foglalva, melyhez az m csapon át a megvizsgálandó gázzal közlekedő cső szilárdan meg van erősítve. Ilyen manométert akkép lehet osztályozni, hogy higanyoszlopokkal mért nyomásokat rájegyezünk.

HARMADIK FEJEZET.

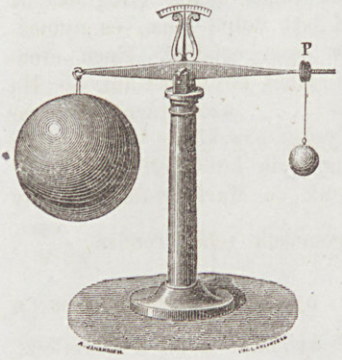
A gázok hatása a szilárd és folyós testekre.

I. Archimedes elve.

1. A gázoknak a közönséges határok közt tapasztalt tökéletes ruganyossága, és récsecseinek mozgékonysága azon következtetésre vezettek, hogy az egyenlő nyomás elve a gázokra ép úgy alkalmazható, mint a folyadékokra. És csakugyan a gáz belsejében a felületegység ép oly nyomást szenved, mint az edény felületegysége.

Ennek legnevezetesebb következménye az, hogy valamely gázba merülő test annyit veszít súlyából, a mennyit a helyéből kiszorított gáz nyom.

97. ábra.



Hogy a testek a levegőben csakugyan veszítenek súlyukból, azt a 96. ábrában lerajzolt kis mérleggel mutathatjuk meg, melyen a csészék helyett egyik végén zárt üres gömb, s másikán ezzel egyenlő súlyú tömörgömb függ. Miután az egyensúlyt levegőn helyreállítottuk, az egész készüléket a légszivattyú burája alá helyezzük, melyből a levegőt kiszivattyúzzuk. Világosan látható e kisérlet alatt, hogy a nagy golyó fokonkint sülyed; a mi onnan származik, hogy a két golyó visszanyeri a levegőben elveszített súlyát; és pedig az üres gömb nagyobb, a tömör pedig kisebb térfogatú levegőnek súlyát; a miért az súlyosabb lesz emennél.

2. **A léggömb.** — E törvényen alapszik azon tünemény, hogy némely testek nehézségük ellenében a levegőben felemelkednek, mely tünemény Aristotelest a nehéz és könnyű testek lényeges megkülömböztetésére indította; az ujabb physikusokat pedig a léghajózás lehetőségére figyelmeztette.

Ha a körlégnél ritkább gázzal, a milyen a melegített levegő is, nagy gömböt megtöltünk, úgy ez oly erővel hajtatik felfelé, hogy tetemes súlyú testeket is magával ragad.

Az első léggömböt 1783-ban Montgolfier testvérek szerkesztették. Papirossal bélelt vászonból volt ez készítve, és a belső levegő kiterjesztése által, melyet az alsó nyilásnál rakott szalmatűz eszközölt, hajtatott fel.

A meleg levegővel hajtott léggömböket még most is montgolfiereknek nevezik, megkülönböztetésül azon léggömböktől, melyek hideg gázokkal töltetnek meg. Charles természetbuvár alkalmazta először a hydrogent. Pilatre du Rosier volt az első, ki léggömbön felemelkedett. A léggömbökön eddig elért legnagyobb magasság 9 kilométer. (M. Glaisher 1864-ben.)

II. A gázok diffusioja.

Alább már feltételeztük és a hőtanban alkalmunk lesz bővebben indokolni, hogy a gáztömecsek haladó mozgásban vannak. Minden tömecs egyenes vonalban halad addig, mig egy más tömecsbe vagy az edény falába ütközik; a midőn is az ütközés által előbbi irányától eltéritve, más irányt követ. Innen van, hogy két gáz a nehézség ellenére is keverődik, mint azt fönnebb a hydrogen- és szénsavval láttuk.

A legfontosabb és legszebb példát a különböző fajsúlyú gázok keverésére, légkörünk mutatja. Habár az oxygen 1·12-szer nehezebb,

mint a nytrogen, a levegő mégis mindenkor és mindenütt tökéletesen ugyanazon százalék tartalmat mutatja.

A tömecseket, a testek mindhárom halmazatában, sokkal kisebbeknek tételezzük fel, mint azon hézagokat, melyek közöttök léteznek. Azért, ha valamely gázt edényben elzárunk, a gáztömecsek előbbutóbb a likacsokon át az edényből kiszabadulnak; de ha az edény gázzal, például levegővel körül is van véve, ennek tömecsei is az edényhez ütközvén, a likacsokon át az edénybe hatolnak; úgy, hogy két gáz szilárd falon át keverődik egymással.

E tüneményeket diffusionak nevezzük.

Ha a fal igen keskeny, akkor a gázok átömlési gyorsasága a sűrűségükből vont négyzetgyökkel fordított arányban van.

Graham e törvényt elméletileg és kisérletileg bizonyította be. A kisérleteket akkép rendezte, hogy különböző gázokat üvegcsövekben száraz gipszdugaszszal elzárt, és levegőbe diffundáltatott. A kisérleti adatok csak kevéssel térnek el e törvénytől.

Később Bunsen, szélesebb válaszfalakon átömlő gázokra vonatkozólag megmutatta, hogy ugyanazon törvényt követik, mint ha igen vékony csöveken folynának keresztül; úgy, hogy bizonyos határon belül a sebesség, melylyel valamely gáz diaphragman keresztül ömlik, arányos:

1) a nyomáskülömbséggel, a válaszfal felett és alatt; és

2) egy súrlódási tényezővel, mely a gáz és a válaszfal nemétől függ.

III. A gázok absorbtioja folyadékok által.

1. Ha valamely gáz oly folyadékkal jön érintkezésbe, mely rá chemiai hatással nincs, a folyadék a gáznak egy részét likacsaiba felveszi, elnyeli. E tüneményt absorbtionak nevezzük.

Ha higanyba mártott eprouvettet ammoniak-gázzal megtöltünk, és kevés vizet bocsátunk be, a higany azonnal felszáll az eprouvetteben, jeléül annak, hogy a víz elnyelte az ammoniakot.

Ez nem chemiai, hanem physikai tünemény, mert egy folyadék ugyanazon gázból, különböző mennyiségeket nyelhet el.

Priestley óta, ki először vizsgálta meg az absorbtio tüneményeit, sok physikus és chemikus igyekezett meghatározni, mekkora gázmennyiséget képes egy bizonyos folyadék-mennyiség magába felvenni.

Az első tapasztalat az: hogy ugyanazon folyadék, különböző gázokból, egyenlő körülmények közt, t. i. egyenlő nyomás és mérséklet alatt, különböző mennyiségeket absorbeál, ép úgy, mint különböző folyadékok egyenlő körülmények közt ugyanazon gázból különböző mennyiségeket absorbeálnak; tehát az absorbeált gázmennyiség függ a folyadék és gáz minőségétől.

Azon kérdést, hogy mikép függ az absorbeált gázmennyiség

ugyanazon folyadék- és gáznál a külnyomástól, mely alatt a gáz áll, egyidejüleg Dalton és Henry oldották meg; kisérleteikből ugyanis kitünik: ha a mérséklet állandó, bizonyos folyadék-mennyiség által elnyelt gáznak térfogata, bármily nyomás alatt, mindig ugyanaz. Értvén az elnyelt gáz térfogatát azon nyomás alatt, melynél az absorbtio végbe megy.

Minthogy a Mariotte-féle törvény következtében valamely gáz sűrűsége egyenes arányban van a külnyomással, a Dalton-Henry-féle törvényt így is lehet kifejezni:

Az absorbeált gázmennyiségek súlyai a külnyomással egyenes arányban vannak.

2. **Gázkeverékek absorbtioja.** — Ha két vagy több gáz keveréke érintkezik valamely folyadékkal, úgy mindegyik saját nyomásával arányosan nyeletik el; tehát épen úgy, mint ha a többi ott sem volna. Azért, ha valamely léggel telt folyadékot oly atmosphaerába hozunk, melyben az illető gáz kisebb nyomás alatt van, vagy épen hiányzik, akkor a folyadék az elnyelt gázt részben vagy egészben kibocsátja. Ebből következik azon meglepő tünemény, hogy ha hydrogennel telt eprouvettát vízzel elzárunk, a hydrogen nemsokára levegő által van helyettesítve. A víz ugyanis a külső levegőt elnyeli, de a hydrogennel megtelt eprouvette alatt levegő nem lévén, az ott a viz likacsaiból kiszabadul, mig a víz a hydrogent elnyeli és külső felszinén elbocsátja, mert ott hydrogen nincs; ily módon a külső víz által elnyelt levegő az eprouvette alá jut, és az addig folytatódik, mig az eprouvettában csupán levegő foglaltatik.

IV. A gázok megsűritése szilárd testek felületein.

1. Ha szilárd test gázzal telt térbe hozatik, az a hozzá közel levő gáztömecseket magához vonzza, miáltal a szilárd test felületén a gáz megsűríttetik. Azért minden szilárd test, mely szabad levegőn van, saját atmosphaerával bír.

Minél nagyobb a szilárd test felülete, annál több pontban érintkezik a gázzal, tehát annál több gáz sűríttetik meg felületén. Azért igen likacsos, vagy finom porrá tört testek nagy mennyiségü gázt képesek megsűríteni. Igy például, ha higanyba mártott eprouvettát szénsavval töltünk meg, és a csőbe a higany fölé, higanyba fojtott fasződarabot teszünk, akkor a higany a csőben felszáll; jeléül annak, hogy a szén a szénsavat likacsaiba felvette, miáltal ennek feszitő ereje kisebbedett. A szilárd test által létesült eme gázsűrítést, hasonlóan, mint a folyadékoknál, absorbtionak nevezzük.

Első, ki a gázoknak szilárd testek által való absorbtioját körülményesen megvizsgálta, Saussure volt.

Jól kiizzított testet üvegharang alá helyezett, melyben higany fölött, megmért gázmennyiség foglaltatott; 24—36 óra lefolyta után megmérte a térfogat veszteségét.

Ez által először is azt mutatta meg, hogy itt is ép úgy mint a folyadékoknál, a mérséklet növekedtével az absorbeált gázmennyiség fogy; úgy, hogy izzítás által a testet minden gáztól meg lehet szabadítani, a mit tenni is kell mindazon testtel, melyet e kisérletekre használni akarunk.

Megmutatta továbbá, hogy különböző testek ugyanazon gázból, és ugyanazon test különböző gázból, különböző mennyiségeket absorbeálnak.

Ezek után megvizsgálta a megsűrített gázmennyiség változását a külnyomással szemben, és azt találta: hogy növekedő nyomással a megsűrített gázmennyiség is növekedik; de nem, mint a folyadékoknál, egyenes arányban, hanem eddig még ki nem derített, sokkal bonyolódottabb törvény szerint.

Saussure kisérletei szerint a légmentes puszpánfaszén térfogategysége 12° Cels.-nál és 760 mm. nyomásnál a következő gáztérfogatokat absorbeálja:

Ammoniak	90
Kénessav	65
Kénhydrogen	55
Szénsav	35
Oxygen	9·4
Nytrogen	7·5
Hydrogen	1·75

Valamint a szén, ép úgy más testek is képesek nagyobb mennyiségü gázt megsűríteni, csak az érintkező felület legyen elég nagy.

Minthogy a gázok megsűrítése által meleg fejlődik ki, mint azt alább látni fogjuk, megtörténik, hogy az absorbtio alatt oly hőség létesül, hogy az éghető gázok meggyúlnak. Igy például, ha oxygennel telt platinatapló (igen finom platina-por) fölött hydrogent vezetünk el, úgy ez oly mohósággal sűríttetik meg, hogy a platina izzásba jön, és a durrgázt meggyujtja. Ama készülék, melynél a meggyujtás ily módon történik, Döbereiner-féle gyujtókészüléknek neveztetik.

Könnyen folyósítható gázok az absorbtio által gyakran folyadékokká sűríttetnek. Igy például a chlormész oly mohósággal sűríti meg a vízgőzt, hogy ez vízzé válik, melyben azután a chlormész fölolvad és szétfolyik. A konyhasó is nagy mértékben veszi fel a levegőből a vízgőzt, miáltal nedves lesz; ép így nedvesedik meg sok más test, mint például a fa, haj, halcsont sat.

Azon testek, melyek ily módon a levegő vízgőzét megsűrítik, hygroskopikus testeknek neveztetnek.

2. **Moser-féle képek.** — Moser észlelte először a következő érdekes tüneményt. Ha jól simított üveg vagy fém felületen fapálcát végig vezetünk, és azután rálehelünk, a lehelet lecsapodásának színkülönbségéből, a pálca által eszközölt vonást tisztán ki lehet venni. A vonások még tisztábbak, ha a felületet higanygőznek tesz-

szük ki; vagy különösen a megérintett, vagy a meg nem érintett helyen rakódik le a higanygőz. Ép így, ha faragott követ teszünk ily síma felületre, s bizonyos idő után rálehelünk, a kőnek képe, többé-kevésbbé tisztán kivehető leend.

Waidele ezen Moser-féle képeket tökéletesen kimagyarázta azon gázatmosphaerából, melylyel, a mint előbb láttuk, minden szilárd test körül van véve; magyarázatát nagy számu kisérlettel bizonyította be.

Az által ugyanis, hogy a felületen a fapálcát végig vezettük, a gázatmosphaerában változás történt, mely változás okozta a párák különböző lecsapódását. Ennek bebizonyítására Waidele a felületet gázatmosphaerával látta el, vagy azt onnan eltávolította, miáltal a képet tetszőlegesen lehetett megváltoztatni.

MÁSODIK RÉSZ.

Hangtan.

ELSŐ SZAKASZ.

A hang keletkezése és terjedése.

I. A hang magasságáról.

Emberemlékezet óta ismerték és használták a hangoknak bizonyos szabályszerü összeköttetéseinek hatását az emberi kedélyre. A miért is előbb találjuk a zenét, és azután alkotó elemét, a hangot, tudományos kutatások tárgyává lenni.

Az első, ki a zene elméletét tiszta physikai kutatásokkal gyarapította, Pythagoras volt.

A hangok legfeltünőbb különbsége abban áll, hogy a vastag és vékony, vagy a mély és magas, érzéseivel rokon benyomásokat gyakorolnak ránk. A miért a zenészek a hangokat magasság és mélység szerint különböztetik meg egymástól. Pythagoras azon körülményeket vette vizsgálat alá, melyek a hang magasságára befolyással vannak. E feladat kitüzése oly természetes, hogy a mese, mely szerint Pythagoras figyelme véletlenül lett volna e feladatra irányítva, nem látszik valószinűnek; azért jogosan azon mesekedvelő korszak találmányának tulajdonítható.

A húros hangszereket ismervén, tudta, hogy különböző hosszúságú húrok különböző magasságú hangokat adnak; közelebbről megvizsgálván a hosszakat, megállapította az arányokat, melyek szerint bizonyos magasságú hangok keletkeznek. Ezen eredmények ismertetését későbbre halasztván, vizsgáljuk előbb általában a hang keletkezését.

II. A hang keletkezése.

Ha bármily hangot adó testet jól megnézünk vagy megérintünk, azt találjuk, hogy gyors ide-oda mozgásban, rezgő mozgásban van. Azért már Pythagoras kimondotta, hogy a hang a testek rezgése

által keletkezik, és hogy e rezgés a levegőt bizonyos mozgásba hozza, mely fülünkhöz érve, ott a hang érzetét kelti.

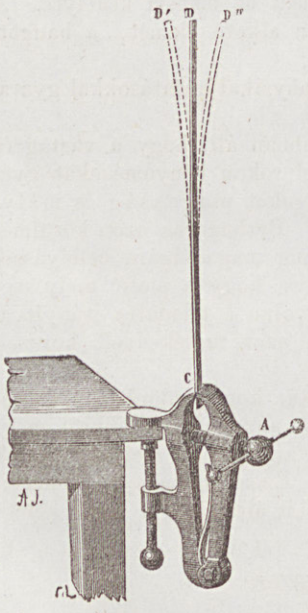
E rezgés, valamint a levegő mozgásának minőségét csak a legujabb időben ismerték fel kellő határozottsággal.

A 18-dik század közepeig ugyanis azon nézet volt általánosan elterjedve, hogy a hangzó test nem mint egész rezeg, ha hangzik, hanem annak részecskéi vannak rezgő mozgásban. A levegő mozgását pedig akkép képzelték, hogy a rezgő test magától egészen füleinkig löki a levegőt. A tény pedig az, hogy a test, mint egész rezeg; ha hangzik, csak egyes esetekben kell részecskéit rezgő mozgásban lévőknek feltételeznünk; a levegő pedig aránylag csak kis távolságra löketik, ott összeszorul és lökését tovább származtatja, úgy, hogy fülünk szomszédos levegője kelti a hallás érzetét. A levegő ily nemü mozgását *hullámzásnak* nevezték el. — Nézzük már most külön a testek rezgését és a levegő hullámzását.

III. A testek rezgése.

1. Ha valamely ruganyos rúdnak, CD-nek (98. ábra) egyik végét C-t az A csavarba fogjuk, és másik végét D-ből D′-be viszszük, és azután magára hagyjuk, úgy a rúd ruganyosságánál fogva eredeti helyzetét igyekszik elfoglalni. De az útközben nyert sebességénél fogva D-nél meg nem állhat, hanem folytatja útját D″-ig; innen ismét visszasiet, hogy előbbi útját ismételje. A rúd tehát CD körül leng, mely lengések táglata mindinkább kisebbedik, mig rövidebb-hosszabb idő után a rúd ismét nyugalomba jön. Ha e lengések igen gyorsan következnek egymásra, azt mondjuk, hogy a rúd rezgésben van.

98. ábra.



Ha e rezgések elég gyorsan következnek egymásra, másrészt pedig e gyorsaság bizonyos határt meg nem halad, úgy hang származik, mely azon pillanatban megszünik, melyben a rezgést megszüntetjük.

E rezgés alatt a rúd minden pontja hoszszára merőleges úton ide-oda, azaz keresztben mozog, a miért e rezgést *kereszt-* vagy *transversal-rezgés*nek nevezzük.

A rudat még máskép is hozhatjuk rezgésbe. Ugyanis *Chladni* tapasztalata szerint a rúd az előbbinél sokkal magasabb hangot ad, ha gyantával bekent ujjainkkal vagy posztóval, hoszsza irányában, dörzsöljük. Ekkor

a rúd gyorsan egymásután meghosszabbodik és összehúzódik, mert egyes részecskéi hoszszai irányában rezegnek. E rezgést hossz- vagy longitudinal-rezgésnek nevezzük. Ezen rezgésnél fel kell tételeznünk, hogy a test egyes részecskéi vannak rezgő mozgásban.

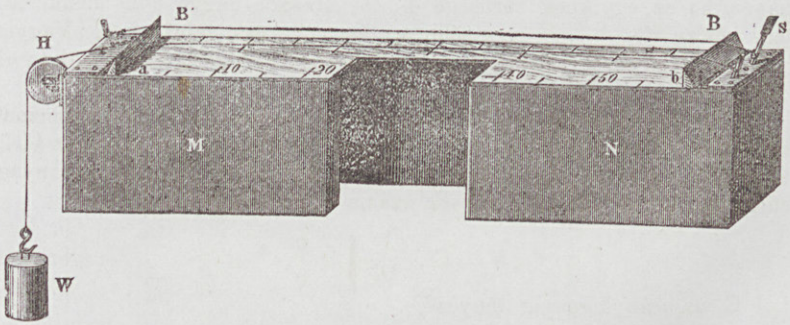
A két végén megfeszített húr, a megfeszítés által ruganyossá válik, és úgy mint a rúd, kereszt- és hosszrezgéseket végezhet.

A lassúbb rezgések közvetetlen megfigyelése azon föltevésre vezetett, hogy a rezgés által keletkezett hang annál magasabb, minél gyorsabban következnek egymásra a rezgések, vagyis minél több rezgést végez a test az időegységben. E fölvételt alább teljesen be fogjuk bizonyítani, addig is, mint az a historiai fejlődésnél is történt, helyesnek fogadjuk el.

Ezeket előre bocsátva vizsgáljuk meg, hogy milyen körülményektől függ a hang magassága. S minthogy a húrok voltak az első vizsgálat tárgyai, mi is ezekkel kezdjük.

2. **A húrok hangmagasságai.** — A húrok által adott hangok tanulmányozására Pythagoras a még mai nap használt készüléket, a monochordot használta. Ez egy üres faszekrényből (MN 99. ábra)

99. ábra.



áll (ez a húr hangját megerősíti), melynek fölső lapjába alkalmazott *s* szögre van erősítve a húr, mely a BB', nyergeknek nevezett, fatámaszokon át a H csigára van vezetve. A húr másik végén oly súly függ, mely azt erősen megfeszíti.

Pythagoras a húrt két egyenlő részre osztotta azáltal, hogy a húr rezgését felező pontjában megakadályozta, és azt találta, hogy mindegyik fél az egész húr hangjának, az alaphangnak, octávját adja. Az octáv tehát $^1/_2$ viszonyszám által fejezhető ki.

A húr harmada ezen octáv quintjét adja; a harmad viszonya pedig a fél húrhoz $^1/_3 : ^1/_2 = ^2/_3$, a quint tehát $^2/_3$ viszonyszám által fejezhető ki.

A húr negyedrésze a félhúr hangjának octávját adja.

Az ötödrész adja az utolsó hang terccét, e két húrhossz viszonya $^1/_5 : ^1/_4 = ^4/_5$; a terc tehát $^4/_5$ viszonyszám által van meghatározva s í. t.

A zenében alkalmazott accordok ily egyszerű összefüggése nagy feltünést okozott, úgy hogy még az ókorban számos kisérlet tétetett a húr hangjainak meghatározására, ha különböző súlyokkal van megfeszítve. A számtalanszor ismételt kisérletek eredményei a következők.

Ha a húrt erősebben megfeszítjük, tehát ha több súlylyal terheljük, magasabb hangot ad. Tekintetbe vévén, hogy magasabb hang rezgési száma nagyobb, a törvényt, mely szerint a hang magassága a megfeszítéssel növekszik, ekkép fejezhetjük ki:

a rezgési számok a húrt feszítő súlyok négyzetgyökeivel arányosak.

A hang magassága a húr vastagságától is függ. Ha ugyanazon anyagból készült egyenlő hosszú húrokat egyenlő súlyokkal feszítünk, akkor az, melynek átmérője kétszer akkora, félszer annyi rezgést végez, mint a másik, tehát

a rezgések száma fordított arányban van a húr átmérőjével.

A hang magassága végre az anyag sűrűségétől is függ. Ha két anyagból egyenlő sodronyokat készítünk, akkor ezek egyenlő körülmények alatt nem fognak egyenlő számu rezgéseket végezni, hanem ha az egyiknek sűrűsége 4-, 9-, 16-szor nagyobb a másikénál, úgy rendre $^1/_2$-, $^1/_3$-, $^1/_4$-szer több rezgést végeznek, mint emez. Vagyis

a rezgések száma a húr sűrűségének négyzetgyökével fordított arányban van.

E négy törvény sokkal könnyebben áttekinthető, ha mathematikai formulába foglaljuk össze. Jelöljük e célra a húr hoszszát l-lel, a feszítő súlyt p-vel, a keresztmetszet átmérőjét d-vel és az anyag sűrűségét ϱ-val, úgy a rezgések száma egy másodpercben

$$n = C \cdot \frac{1}{ld} \sqrt{\frac{p}{\varrho}}$$

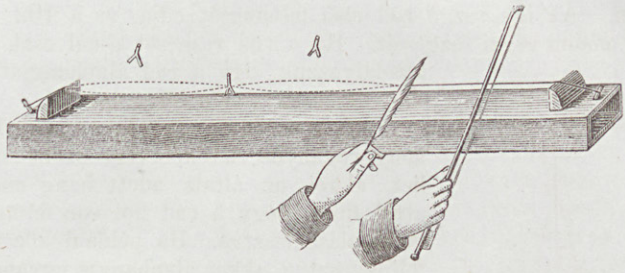
hol C az aránylagosság tényezője.

3. **Csomópontok.** — Ha a húr rezgését felező pontjában megakadályozzuk, úgy nem csak azon fél rezeg, melyet megindítunk, hanem a másik is ép oly rezgéseket végez. Ha a rezgés megindítása után a húrt magára hagyjuk, úgy előbbi rezgését folytatja, úgy hogy középpontja a rezgésben nem vesz részt, mint ha még mindig meg volna erősítve.

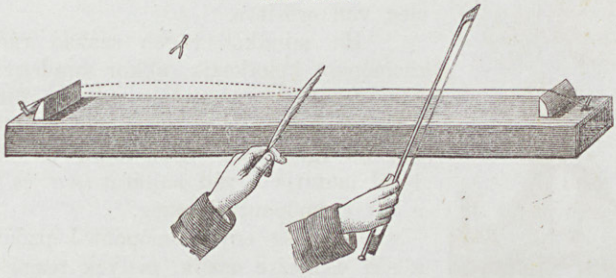
Ha a húr rezgését harmadában akadályozzuk meg, úgy a többi kétharmadrész ép oly rezgéseket végez, mint az első, ugyanis magától két részre oszlik, úgy hogy a második osztópont ép úgy nyugvásban marad, mint az első.

Ezt Sauveur, Mersenne által már figyelmessé téve, 1701-ben igen szépen mutatta meg a monochord húrjával. Ugyanis a húr rezgését az illető pontokon lúdtollal megakadályozván, mint a 100. és 101. ábrák mutatják, a nyugvásban maradandó pontokra, és ezek közé egy-egy könnyű lovast ültetett. Ha a húrt a vonóval meghúzta, a

100. ábra.



101. ábra.



húr osztó pontjain a lovasok nyugvásban maradtak, de a közbeesők azonnal leestek.

Azon pontokat, melyek ily módon a rezgésben részt nem vesznek, csomópontoknak nevezték el.

4. **Harmonikus- vagy fölhangok.** — Mersenne volt az első, ki észre vette, hogy a húr hányados részei által adott hangok akkor is hallatszanak, ha a húrt mint egészet indítjuk rezgésnek. Sauveur e hangokat, melyeket csak hosszabb gyakorlat után lehet észrevenni, harmonikus hangoknak, Helmholtz pedig felhangoknak nevezte.

Sauveur e hangokat igen egyszerü módon teszi hallhatóva, ugyanis, miután a húrt a vonóval meghúzta, lúdtollal gyengén megérinti azon pontot, melyen egy harmonikus hangnak csomópontja van: úgy az alaphang mellett tisztán hallatszik az illető harmonikus hang.

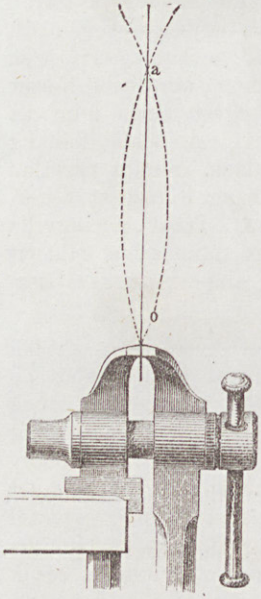
5. **A rudak rezgése.** — A húrok csak megfeszítés által válnak ruganyosakká, de a rudak saját ruganyosságuk által jönnek rezgésbe. A rudakat tehát megfeszítenünk nem kell, de meg kell erősítenünk, hogy rezgésbe jöhessenek; és e megerősítés módja szerint több esetet kell megkülönböztetnünk.

a) A két végén megerősített rúd rezgései hasonlók a húr rezgéseihez; de a törvény, mely szerint a hang magasság változik, más.

b) Egyik végén megerősített rúd rezgését már a 98-dik ábrából láttuk. Különösen figyelemre méltó, hogy az első csomópont

nem a rúd közepén támad, hanem szabad végétől számított harmadrészében. Az így rezgő rúd első felhangját adja, és a 102. ábrában látható módon végzi rezgéseit. Ha a rúd rezgését *a*-nál csak kevéssé akadályozzuk, úgy a rúd alaphangját és első fölhangját egyszerre lehet hallani.

102. ábra.



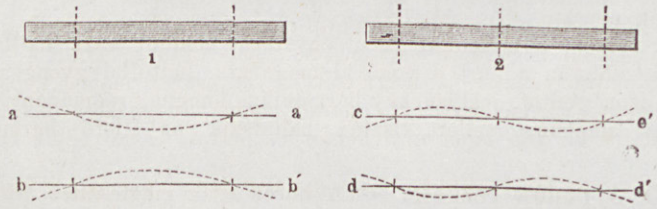
c) A felfüggesztett rúd. — Ha valamely ruganyos rúd két vége szabadon rezeghet, akkor az általa adott hang magassága attól függ, hogy a rúd hol van felfüggesztve vagy alátámasztva. Ha például közepén van felfüggesztve, akkor alaphangja ugyanaz, mint egy félhosszúságú rúdé, mely egyik végén meg van erősítve.

Ha mindkét végén szabad rúdon két csomópont keletkezik, akkor mindegyik a rúd hoszszának $^1/_5$ résznyire esik az illető végtől, úgy hogy a két csomópont közötti távolság az egész rúd $^3/_5$-ét teszi. A 103. ábra 1-nél mutatja a rúd hajlását (aa' és bb'), ha e két csomóponttal rezeg.

Ha még egy csomópont képződik, úgy a rúd 4 részre oszlik, melyek rezgését 2-nél a cc' és dd' pontozott vonalak mutatják.

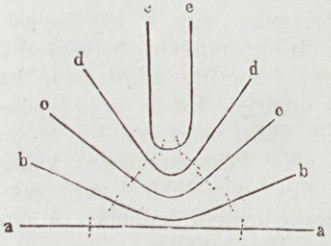
6. **A hangvilla.** — A hangvilla egy, kétszeresen meghajtott szabadon rezgő rúd. Hogy ilyen rúd rezgését elképzelhessük, kövessük a rúd rezgését a különböző hajlításnál. Legyen aa (103. ábra) egy egyenes rúd, melynek csomópontjai a pontozott vonalakkal vannak megjelölve. Ha a rudat meghajtjuk,

103. ábra.



úgy hogy bb alakkal bírjon, akkor a csomópontok egymáshoz közelednek. Ha így a cc, dd alakokon át a rudat mindinkább jobban meghajlítjuk, úgy végre az ee alakot nyeri, melyben a két szár egymással párhuzamos, és ez a hangvilla alakja. Látjuk, hogy ezen alakban a két csomópont igen közel van egymáshoz; ha ilyen hangvilla legmélyebb hangját adja, akkor úgy rezeg, mint azt a 105. ábra mutatja: a szabad végek en és fm határok közt rezegnek, p és q pedig

104. ábra.



105. ábra.



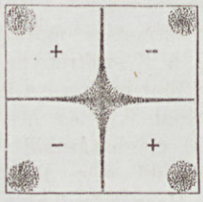
a csomópontok. Olyan rezgéseket, mint a három csomópont által feloszlott rúd, a hangvilla nem végezhet. Ha a hangvilla első felhangját adja, akkor mindegyik száron képződik egy-egy csomópont, és kettő a hajlásnál; ezen első felhang körülbelül 6-szor több rezgést tesz, mint az alaphang. A többi felhang rezgési számai az elsőhöz képest akkép növekednek, mint a páratlan számok négyzetei. Vagyis mialatt az első felhang 9 rezgést végez, azalatt a második 25-öt, a harmadik 49-et tesz. Tehát a hangvilla felhangjai sokkal nagyobb mértékben emelkednek, mint a húr felhangjai, és azért hamarabb el is tünnek, miáltal az alaphang sokkal tisztábban hangzik, mint a húrnál.

7. A lapok rezgése. — Bármily alakú fa-, üveg-, fém- sat-ből készült lapokat is lehet rezgésbe hozni. A lapok rezgése alatt ép úgy, mint a rudaknál, csomóvonalak származnak, csakhogy a lapok csomóvonalai sokkal complicáltabb törvények szerint képződnek, mint a rudakéi. A csomóvonalak tanulmányozására Chladni egy, ép oly szép, mint egyszerü módszert talált fel, mely abban áll, hogy a lapot egyenletesen porral behintjük, mely por a rezgésben lévő részektől ellöketik, mig a csomóvonalak hoszszában összegyül. Igy például, ha négyzetet képező üveglapot középpontjában csavarba fogunk, és egyik oldalának végéhez közel a vonóval meghúzzuk, mialatt az oldal közepén a rezgést újjunkkal megakadályozzuk: úgy az előlegesen ráhintett por két csomóvonalba gyűl, melyek a négyzetet 4 kisebb négyzetre osztják (106. ábra). Ezalatt a lap legmélyebb hangját, vagyis az alaphangot adja.

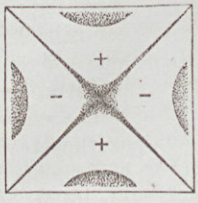
Az ábrába rajzolt + és — jelek azt mutatják, hogy az egymás mellett lévő négyzetek mindig ellenkező irányban mozognak. Ha a +-szal jelelt négyzetek a nyugvó sík felett vannak, akkor a —-szal jelöltek alatta vannak és megfordítva. A csomóvonalak képezik a két ellenkező mozgás határait, miáltal maguk nyugvásban maradnak.

Ha ugyanazon lapot ujra behintjük porral, és az egyik csúcsá-

106. ábra.



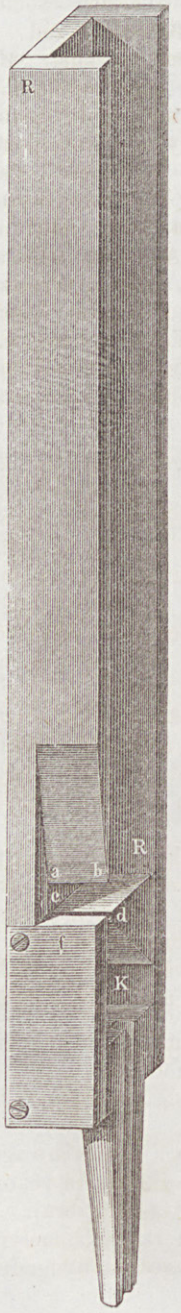
107. ábra.



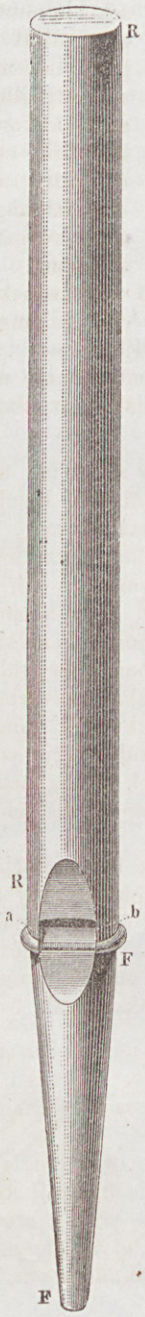
108. ábra.



109. ábra.



110. ábra.



nál megérintjük, mialatt az oldal közepén meghúzzuk, úgy a két csomóvonal az átlók irányába helyezkedik (107. ábra). Az így adott hang az előbbinek quintje. Ha az *a* és *b* pontokat (108. ábra) megérintjük, és az ellenkező oldal közepén húzzuk végig a vonót, úgy az előbbinél még sokkal magasabb hangot hallunk. A lap rezgését az ábra mutatja.

Ép oly jól lehet e kisérletekre fénylapokat használni, melyek állandóan vannak egy állványra erősítve. A szerint, a mint a lapokat más-más pontoknál megérintjük, és ismét más pontoknál meghúzzuk, a legkülönbözőbb alakokat nyerjük.

IV. A levegő mint hangforrás.

1. A levegő nem csak szilárd test rezgése által hozható hullámzásba, hanem magából a levegőből elzárt oszlop is oly állandó rezgésbe hozható, hogy általa a külső levegő hullámzásba jön. Ezt legegyszerűbben mutathatjuk meg, ha hengeres edény nyilt végénél az edény falára körülbelül merőleges légáramot fuvunk. Igy az edény hoszszától függő hang keletkezik.

Ha hengeralakú edény helyett tág csövet használunk e kisérletre, úgy kedvező körülmények közt szintén előáll a hang, mely azonban az edények egyenlő hosszúsága mellett, az előbbinek mélyebb octávája.

Ezen alapszik a következő pontban leirandó orgonasípok szerkezete.

2. **Az orgonasípok.** — Az orgonasípok szerkezetét a 109. ábrában rajzolt keresztmetszet mutatja. Az alsó csövön át a K szekrénybe levegő hajtatik, mely fönt csak a *c d* keskeny résen szabadulhat ki, és ott a rés szerkezete által meghatározott irányú légáramot idéz elő. Az R R cső a rés fölött *a b* élben végződik. — Az

itt ábrázolt síp fönt nyitva van; alkalmaztatnak azonban olyan sípok is, melyek fönt zárva vannak, milyen a 110. ábrában látható. Az elsők nyilt-, az utóbbiak födött sípoknak neveztetnek.

A mint a légáramot megindítjuk, a cső hoszszától függő szép, erős hang keletkezik. E hang keletkezése mai napig homályosan és a kellő alapot nélkülöző módon magyaráztatott. Csak 1876-ban adja Sonreck kölni orgonaépitőmester, Poggendorff annalok 5-dik füzetében megjelent értekezésében, következő megnyugtató magyarázatát.

Ha a légáram oly irányú, hogy az *ab* élt (109. ábra) érinti, úgy az áram a síp belsejéből levegőt magával ránt; és habár az áram egy része a sípba hatól, mégis légritkulás áll be, mert az áram sokkal nagyobb levegőmennyiséget ránt magával. A síp alsó részében tehát légritkított tér keletkezik. A külső levegő folyvást igyekszik ugyan e ritkulást kiegyenliteni, de sem a fölső nyilt végén, sem az alsón át nem eszközölheti, mert a csőbe hatoló áram fölfelé oly nyomást gyakorol, a mekkora feszitő erőt a belső levegő a ritkitás által veszit; az alsó nyilást pedig az áram elzárja a külső levegőtől, addig mig a külső és belső nyomáskülönbség meghaladja az áram ellenállását. Azon pillanatban, melyben ez bekövetkezik, a külső levegő betolja az áramot és a ritkított helyet sürített levegővel tölti meg. Ezen visszahatás a csőben tovább származtatik, és a cső közepén azon nyomással találkozik, melyet a külső levegő egyidejüleg a cső fölső nyilásán át gyakorol. Az ily módon a cső közepén előállott sűrűdés a rezgésbe hozott levegőoszlop csomóját képezi, melytől a hullámok föl- és lefelé terjednek.

Látni való, hogy a légáram, miután tőle egy levegőhullám elszakittatott, ismét előbbi irányát veszi fel; úgy hogy a szivattyuzás ismétlődik. Tehát ismét ritkulás áll be; a légáram ismét befelé nyomatik, és az igy bekövetkező sűrűdéssel összeesik a csomótól visszatérő hullám. A levegőoszlop e rezgését a fölső és az alsó nyiláson át a külső levegővel közli, miáltal ez hullámzásba jön. A födött sípoknál a ritkulás egész a cső fölső végeig ér, mig a külső levegő betódul, és igy csak a cső két végénél képződnek csomók.

Ha a légáram igen erős, akkor a szivattyuzás oly mohó, hogy a külső levegő betódul, még mielőtt a ritkulás a nyilt cső közepéig ért, ekkor a cső negyedrészén képződik csomó: a síp ekkor első fölhangját adja.

A síp levegőoszlopában a két oldalról áramló levegő sűritést idéz elő, mely helyen a rákövetkező időszakban ritkulás keletkezik. A csomóknál tehát, a hol rezgés nincs, a levegő fölváltva ritkul és sűrül, azon helyeken pedig, hol a rezgés legélénkebb, a sűrűségváltozás csekély.

A rezgő levegőoszlop ilyetén állapotát William Hopkins igen egyszerű módon mutatta meg. Ugyanis üvegből készült sípba vékony hólyagtányért bocsátott, melyre kevés port hintett (111. ábra). A por élénk mozgásba jön, ha a tanyért olyan helyen tartjuk, melynél a levegő rezgésben van, mig a csomóknál a por egészen nyugodtan

112. ábra



marad a tányéron. Ha a síp alaphangját adja, a por nyugodtan marad a cső közepén. De ha a síp első fölhangját adja, akkor a por *a*- és *b*-nél marad nyugvásban, a mely helyeken előbb élénken mozgott, *a*- és *b*-nél tehát most csomók vannak.

V. A levegő hullámzása.

1. Mint említve volt, a levegő hullámzó mozgás által vezeti tovább a hangot. E hullámzó mozgás megismertetésére, képzeljük, hogy tökéletesen nyugodt levegőtömegben valamely szilárd test rövid ideig gyorsan halad, és ép oly gyorsan ismét visszatér. A mozgás első része közben a levegő tömecsei tovább löketnek, de a legközelebbi tömecsekbe való számtalan ütközés következtében sebességüket csakhamar elvesztik, úgy hogy bizonyos távolságban összesűrűlve, egy pillanatra megállanak. Ez alatt a test visszamozgása által légritkított tér származik, melynek betöltésére a sebességüket vesztett, összesűrűlt tömecsek visszasietnek. Másrészt az ütközés által elvesztett mozgási erély más tömecsekre származtatott át, miáltal az előbbivel egyenlő légtömeg egyenlő sebességgel ismét előre halad; azon távolságban, melyben ezek ütközésük által ismét megállíttatnak, összesűrülnek, és azután a mögöttük származott légritkított tért betöltendők, visszaáramlanak. Igy a levegőnek helyenként való összesűrítése tovább származtatik, míg a sűrülés után a levegőtömecsek eredeti helyzeteikhez térnek vissza, de ott bizonyos sebességgel megérkezvén, tovább haladnak és az előbbihez egyenlő távolságban a levegőt ismét összesűrítik, s azután előbbi mozgásukat ismétlik. Látjuk tehát, hogy a szilárd test mozgása által a levegőtömecsek bizonyos távolságban ide-oda mozognak, rezgő mozgást végeznek, és e távolságon túl a többi levegőrészecseket is e mozgás utánzására indítják. Ez által a levegő helyenkint összesűrűl és megritkul.

A levegő ezen állapotát *hullámzásnak*, — két egymásután következő legnagyobb sűrülés között lévő tért *egy hullámnak*, — és ennek egyenes vonalban mért nagyságát *hullámhossznak* nevezzük.

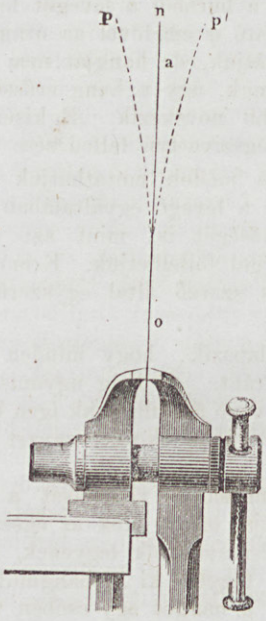
Ha e hullámok elég erélyesek, úgy fülünkhöz érve, minden sűrülés a dobhártyát befelé tolja, mintegy behorpasztja, a ritkulások pedig az ellenkező hatást szülik. A dobhártyának ezen mozgása, ha elég gyorsan megy végbe, de másrészt ismét bizonyos hatást túl nem halad, a halló szervek által az agyba vezetve, mint hang jön tudomásunkra.

Ha egyszeri mozgás által elég erélyt kölcsönözhetünk a levegőnek, úgy már ez is hangot létesít. Miután azonban ilyen esetben a mozgási erélyüket szomszédjaiknak átadott levegőtömecsek nyugvásba jönnek: rövid hangot hallunk. De ha a szilárd test mozgása szabá-

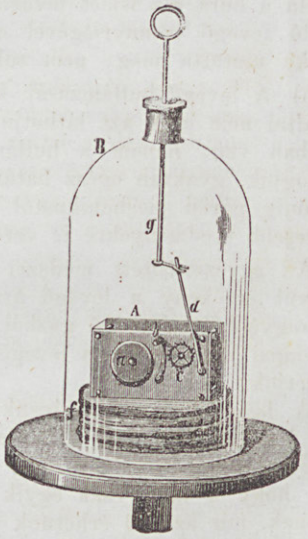
lyosan ismétlődik úgy, hogy ott, hol az első mozgás sűrítést, illetőleg ritkulást állított elő, ezek a második és a rá következő mozgások által megujíttatnak, akkor a levegő állandó hullámzásban marad. És ha a mozgások elég erősek és elég gyorsan következnek egymásra, folytonos hangot hallunk. Mint láttuk, minden ruganyos test alkalmas ily szabályosan ismétlődő mozgás előidézésére, azért állandó hang előállítására a rugalmas testeket használjuk.

Képzeljünk már most egy rezgő testet, például a 112. ábra ao rúdját. Mialatt a rúd n-től p-felé halad, azalatt a levegő ezen irány-

112. ábra.



113. ábra.



ban rugalmasságától és sűrűségétől függő bizonyos l távolságig összesűrittetik. Ha a rúd visszatér p-től p'-ig, úgy a levegő visszaáramlik és ott, a hol sűrűdés volt, ritkulás áll be. De ezalatt az l távolságba lökött levegőrészecskék mozgásba hozták szomszédos részeiket, melyek l-n túl ugyanazon erélylyel sűrittetnek össze, mint ezen innen történt; úgy, hogy egy sűrített és ritkított rész áll elő, azon kis időköz alatt, mely alatt a test egy teljes rezgést végzett. Vagy más szóval:

a levegő hullámzó mozgása egy hullámhoszszal származtatik tovább, mialatt a test egy rezgést végez.

Azonban nem csak a levegő, hanem minden ruganyos test képes a hangot tovább vezetni. E közben a szilárd vagy folyós hangközeg ugyanazon törvényeket követő hullámzó mozgásban van, mint a levegő: részecsei longitudinál-rezgéseket végeznek.

Hogy a hullámhossz mikép függ egyrészt a rezgési számtól, másrészt a közeg ruganyosságától és sűrűségétől, azt alább fogjuk megvizsgálni.

2. A levegő hullámzásának kisérleti bizonyítéka. — A levegő hullámzását két módon bizonyíthatjuk be: a) indirekt úton, melyen megmutatjuk, hogy hangvezető közeg nélkül hangot egyáltalában nem hallhatunk, és b) direkt úton, melyen bár nem közvetetlenül szemmel láthatóvá tehetjük a hangzó levegő hullámjait.

a) Ha csengetyűs óramüvet A-t (113. ábra) a légszivattyú R burája alá helyezünk úgy, hogy az az asztaltól valamely *f* rugalmatlan test által el legyen választva, és miután a burából a levegőt lehetőleg kiszivattyúztuk, a kivülről mozgatható *g* emelővel az óramüvet megindítjuk, akkor az órát ugyan járni látjuk, de hangját nem halljuk. Ha a bura alá ismét levegőt bocsátunk, úgy a hang erőssége a betóduló levegő mennyiségével mindinkább növekszik. E kisérletet Guericke mutatta meg, nem sokára a légszivattyú felfedezése után.

b) A levegő hullámzását sajátságos módon mutathatjuk meg, mely által nem csak azt láthatjuk, hogy a levegő egyáltalában hullámzásban van, hanem a hullámok minőségét is, mint azt alább látni fogjuk, gyakran egész határozottsággal föllelhetjük. E módszer Dr. König párisi mechanikustól ered, és szerző által egyszerüsítve tökéletesebb eredményekre is vezet.

Az egyszerűsített módszer azon alapszik, hogy minden láng rendkivül érzékeny a levegő áramlása iránt. A láng ugyanis nem állván egyébből mint égő gázból, az a levegő áramlásának igen könnyen enged úgy, hogy a levegő egyensúlyában okozott zavart rajta észlelhetjük.

A levegőhullámok helyenkénti sűrűlését és ritkulását a láng rendes körülmények közt meg nem mutatja, mivel azok az egész térben egyenletesen terjednek szét. Hogy észrevehetők legyenek, szükséges, hogy a láng csak egyik oldalát tegyük ki a hanghullámok hatásának, mit azáltal érhetünk el, hogy a hangot egy csőben vezetjük a lángig, mely cső a láng szélességénél keskenyebb nyilással bír. Ha a cső nyilt végéhez hangzó testet tartunk, úgy a cső levegője hullámzásba jön, és a lánghoz tartott keskeny nyilásnál származó ritkulások a lángot a csőbe húzzák, mig a sűrűlések a lángot mintegy kifújják, jobban élesztik. Minthogy azonban e sűrűlések és ritkulások igen gyorsan következnek egymásra, a láng ezáltal előidézett mozgását ép oly kevéssé lehet szemmel kisérni, mint a hangzó test rezgéseit. Valamint a rezgő testet elmosódva látjuk, úgy e lángon is a mozgás hatását abban látjuk, hogy világító erejéből tetemesen veszt és hogy rövidebb de szélesebb alakot vesz fel.

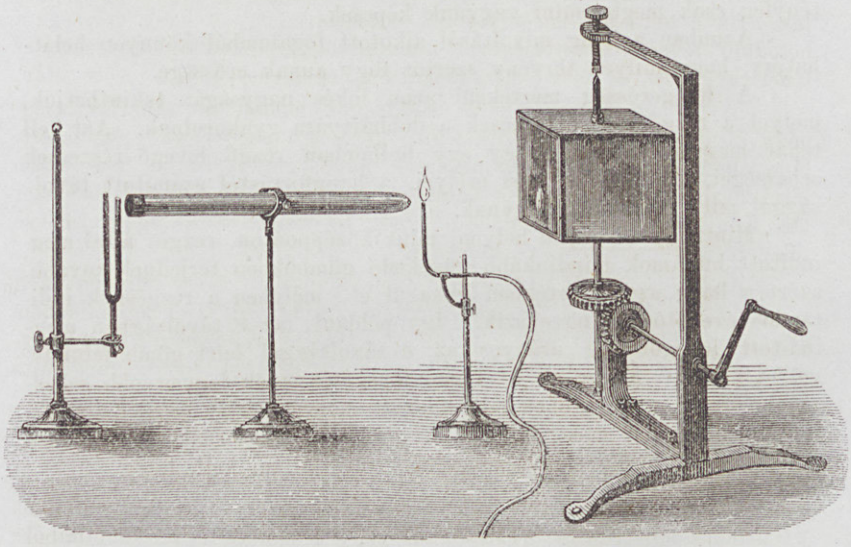
A láng rezgéseit láthatóvá tehetjük azon elv alkalmazása által, hogy valamely tárgy tükörképét más-más helyen látjuk, ha a tükör forog. Ha a tükröt, melyben a nyugodtan álló láng képét látjuk, lassan forgatjuk, úgy a különböző helyzeteket elfoglaló képet szemmel

követhetjük; ha azonban a tükröt gyorsan forgatjuk, úgy az egyik kép benyomása még el nem tünt, a midőn már a másodikat látjuk, és ezáltal nem egyes lángokat, hanem egy lángszalagot látunk.

Ha azonban a láng rezgésben van, úgy csak szabályosan egymásra következő időközökben villan fel, a közbeeső pillanatokban pedig elsötétül, s miután a láng felvillanása alatt a tükör egyet forog, annak képei egymás után tünnek elő, úgy hogy folytonos fényszalag helyett a fel-felvillanó láng képeinek sorát látjuk a tükörben.

A berendezést a 114. ábra mutatja. Egy állványra erősített szűk nyilású üveg- vagy fémcső szájához rezgő acélt (vagy hangvillát) állítunk. A szűk nyilás elébe kis gázlángot helyezünk, melynek képét a kocka-alakú, gyorsan forgatható tükörben szemléljük.

114. ábra.



A fönt leírt módon előállott képek a 115. ábrában vannak lerajzolva.

Az egyes csipkék távolsága a rezgés sebességétől, és azon sebességtől függ, melylyel a tükör forog. Ha a tükör állandó sebességgel

115. ábra.



forog, akkor ugyanazon hosszúságra annyiszor több csipke esik, a hányszor gyorsabban rezeg a láng.

VI. A hang terjedése.

1. **A hang elgyengülése.** — A mindennapi tapasztalatból tudjuk, hogy a hang forrásának távolságával mindinkább elgyengül. Későbbre halasztván azon föltételek megállapítását, melyektől a származó hang erőssége függ, most csak azt vizsgáljuk, hogy milyen törvény szerint fogy annak erőssége terjedése alkalmával.

E célra mérő kisérleteket tenni a dolog természeténél fogva nem lehet, minthogy a hang bizonyos mozgásnemnek érzékünkre gyakorolt sajátságos hatásából áll, és e mozgás csak annyiban hang, a mennyiben azt halló szerveinkkel észre veszszük. A hang erősségét tényleg csak megbecsülni vagyunk képesek.

Azonban a hang mivoltáról alkotott fogalomból könnyen belátjuk, hogy milyen törvény szerint fogy annak erőssége.

A hangerősség mértékeül azon lökés nagyságát tekinthetjük, melyet a rezgő levegőrészecsek a dobhártyára gyakorolnak. Azt kell tehát megvizsgálnunk, hogy egy hullámban rezgő levegő-részecsek sebességei, illetőleg mozgási erélyei, a hangforrástól számított távolsággal mily mértékben fogynak.

Minthogy bizonyos helyen, mint középponton, rezgés által megindított hullámok mindinkább növekedő gömbökben terjednek tovább, azért a hang azon mértékben gyengül el, melyben a rezgésnek indítandó levegőtömeg növekszik. Igy például, az r távolságban megindított levegőtömeg arányos az e távolsággal leírt gömb felületével, $4\pi r^2$-el. És ha az itt rezgő levegőrészecsek legnagyobb sebessége v, úgy a levegőben felhalmozott mozgási erély lesz $2\pi r^2 v^2$. Feltételezvén már most, hogy a levegőrészecsek egymásközti súrlódása által veszített erély elenyésző csekély, úgy állani kell, hogy

$$2\pi r^2 v^2 = 2\pi r'^2 v'^2 \quad \text{vagy}$$

$$r^2 v^2 = r'^2 v'^2 \quad \text{miből}$$

$$v : v' = r' : r.$$

Az egyes rezgő részecsek sebessége tehát a távolsággal visszás arányban van. A lökés erőssége pedig a részecsek mozgási erélyével arányos, és minthogy dobhártyánk állandó nagyságára csak ugyanakkora levegőtömeg hathat, következik, hogy a lökés intensitása a sebesség négyzetével arányos, s így a távolság négyzetével visszás arányban van.

Ezekből következik, hogy csövekben vezetett hang csak igen kevéssé gyengül el nagyobb távolságokban is, minthogy itt mindig ugyanakkora levegőtömeg indíttatik meg.

Biot hires francia természetbuvár a hang terjedését a párisi üres vízvezető-csövekben vizsgálta meg, és azt találta, hogy egy vascsövön át 3120 láb távolságra egészen halk hangon beszélgethetett.

A legkisebb sziszegés elhallatszott a cső másik végeig, és az egyik végen elsütött pisztol a másik végen égő gyergyát eloltott.

Minthogy továbbá ritkább levegőben kevesebb tömeg ér halló szervünkhez, másrészt az indító rezgés ugyanazon sebessége mellett, a levegőrészecsek nagyobb sebességet nem nyernek: ott a hang gyengébb, mint sűrűbb levegőben. Igy magas hegyeken kilőtt fegyverek meglepő gyenge hangot adnak.

A hang, mint általában minden mozgás, gyengíttetik, ha könnyebb testről nehezebbre vitetik át. Ennek következménye ismét az, hogy a hang erőssége azon levegő sűrűségétől függ, melyben a hang keletkezik, és nem attól, melyben halljuk. Azért magas hegyen létesített hangot lent gyakran nem hallani, mig ugyanazon hang alulról felfelé tisztán hallatszik.

2. **A hang sebessége.** — Fönnebb láttuk, hogy a hang minden egyes rezgés alatt egy hullámhoszszal terjed tovább; ebből kitünik, hogy bizonyos, meghatározható idő szükséges arra, mig a hang egy helytől a másikhoz ér. Igy például egy, nagyobb távolságban elsütött fegyver zörrenését később halljuk, mint a lángot és a füstöt látjuk. — A hang sebességét azon úttal mérjük, melyet egy másodpercben befut. Ezen út meghatározására levegőben sokrendbeli kisérlet tétetett, melyek közül legnevezetesebbek az 1822-ben Páris mellett Monthlery és Villejuif közt, a párizsi akadémikusok által, végrehajtott kisérletek. A két nevezett helyen 10 percnyi időközök után süttetett el egy-egy ágyú, és pedig úgy, hogy Monthleryban 5 perccel előbb kezdették meg, mint Villejuifben. Mindkét helyen kellett ágyukat kisütni, hogy a szél befolyása kiküszöböltessék, habár a kisérletek csendes időben éjjel hajtattak végre.

A villejuifi három észlelő mindegyike saját chronométerjén figyelte meg az időt, mely a tűz fellobbanása pillanatától a hang megérkeztéig eltelt. Egy és ugyanazon esetben a három észlelő adata alig tért el 3—4 tized másodperccel. A feljegyzett leghosszabb idő 55 és a legrövidebb 54·7 másodperc volt; ezek számtani közepe 54·84 mp.

A Monthleryban észlelt leghosszabb idő 54·9, a legrövidebb 53·9 mp., a közép 54·43 mp.

Fölvehetjük tehát, hogy azon idő, mely alatt a hang egy állomásról a másikig ért, 54·6 másodperc volt.

A hang sebességének meghatározására még csak a két állomás egymástól való távolságát kellett megmérni; ezzel Arago bizatott meg, ki a fokmérés alapján e távolságot 18622·27 méternek találta. A hang sebessége tehát

$$c = \frac{18622{\cdot}27}{54{\cdot}6} = 340{\cdot}8 \text{ méter.}$$

A levegő mérséklete e kisérletek alatt 16 fok volt.

3. **A hang sebességének változása.** — A hang sebessége a légnemű közeg minőségétől függ. Tegyük fel, hogy valamely gáz a

légkör közönséges nyomása alatt csak félakkora sűrűséggel bír, mint a levegő, és képzeljük, hogy két pontosan egyenlő hullám terjed e két különböző közegben. Ekkor, minthogy a nyomás különbsége, mely a rezgéseket létesíti, mindkét gázban ugyanaz, a mozgásba hozandó tömeg ellenben a ritkább gázban csak félakkora, szükségképen ennek részecskei rezgéseiket rövidebb idő alatt fogják végezni, a hullám terjedésének sebessége pedig nagyobb fog lenni. — Doulong kísérletei szerint a hang terjedése különböző gázokban következő sebességgel (0° C-nál) történik :

Szénsavban	261·6	méter.
Oxygenben	317·2	„
Levegőben	333·0	„
Szénoxydban	337·4	„
Hydrogenben	1269·5	„

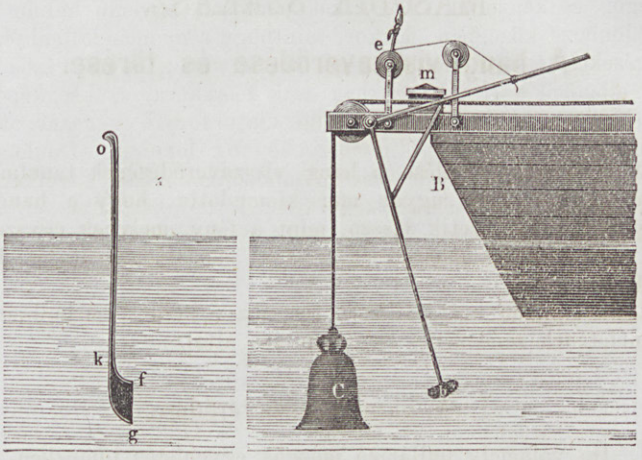
Ugyanazon gázban a hang sebessége nem függ a sűrűségtől, ha a mérséklet állandó marad; ez a Mariotte-féle törvény következménye. Ugyanazon gáznál a nyomás különbsége, mely a rezgéseket okozza, a gáz sűrűségével ugyan arányos, de a mozgásba hozott tömeg vele szintén ugyanazon arányban áll. A kétszer akkora nyomáskülönbség tehát kétszer akkora tömeget is fog mozgásba hozni, s így e két körülmény egymást pontosan egyensúlyozza, minélfogva a sebesség ugyanaz marad.

Ha azonban a gáz mérséklete emelkedik, akkor ugyanazon nyomáskülönbség mellett, vagyis ugyanazon mozdító erő mellett, a mozgásba hozandó tömeg csekélyebb lesz, minélfogva a terjedés sebessége nagyobb fog lenni. A hang e szerint gyorsabban terjed meleg levegőben, mint hidegben, és ez okból a fentebb közölt táblában a gáz chemiai minőségén kivül még a mérséklet is adva van, melyre az észlelés vonatkozik.

4. **A hang sebessége vízben.** — Colladon és Sturm 1827-ben, következő módon mérték meg a hang sebességét a genfi tóban. Egy, a víz alá merülő harang csónakra volt erősítve (116. ábra), és oly módon üttetett meg a kalapácscsal, hogy ennek nyele egyidejüleg az *e* parázst *m* puskaporral hozta érintkezésbe. Az átellenes parton feljegyezték azon pillanatot, melyben a tűz támadt és azt, melyben a harang hangja hallatszott, a mit a *gf. ko* cső segítségével észleltek. E kísérletek a hang sebességére vízben 1435 métert adtak, mely a Laplace által elméletileg kiszámított értéktől csak kevéssé tér el.

5. **A hang sebessége szilárd testekben.** — Mindazon kísérletek, melyek a szilárd testekben terjedő hang sebességének meghatározására tétettek, azt mutatják, hogy e sebesség sokkal nagyobb, mint a levegőben. Innen ered azon gyakori tévedés, mely szerint azt hiszik, hogy a sűrűbb levegőben is gyorsabban terjed a hang, mint a ritkábban; pedig láttuk, hogy ha valamely gáz sűrűsége nagyobbodik, mialatt feszítő ereje állandó marad, úgy benne a hang lassab-

116. ábra.



ban terjed. A nagyobb sebesség a szilárd testekben arra mutat, hogy ruganyosságuk a gázokéhoz képest még nagyobb mértékben növekedett, mint sűrűségök.

Biot öntöttvas-csövekben direct mérés által határozta meg a hang sebességét. E célra 376 vascsövet kötött össze, melyek hosszúsága 951·25 métert tett. E csőrendszer egyik nyílásán egy, a csővel szilárd összeköttetésben álló harang volt alkalmazva, melyet egy rugóra erősített kalapácscsal lehetett megütni. A cső másik végén álló észlelőnek az így származott hangokat duplán kellett hallania: először azt, mely a cső anyaga által vezettetett, és azután azt, mely a levegőben terjedt tovább. Csakugyan egészen tisztán lehetett a két ütést kivenni, melyek 2·5 másodperc lefolyása után következtek egymásra. Ebből a hang sebessége a vasban, u', a levegőbeni sebességből, u-ból, a következő módon számítható ki.

Azon idő, mely alatt a hang a levegőben terjedt $\frac{951{\cdot}25}{u}$ mp. volt, a vasban pedig $\frac{951{\cdot}25}{u'}$ mp., e kettő különbsége 2·5 másodperc volt. Tehát

$$\frac{951{\cdot}25}{u} - \frac{951{\cdot}25}{u'} = 2{\cdot}5 \qquad \text{és ebből}$$

$$u' = \frac{951{\cdot}25\,u}{951{\cdot}25 - 2{\cdot}5\,u}$$

Ha ebbe u értékét, kerek számban 331-el helyettesítjük, úgy

$$u' = 3475{\cdot}5^{m} = 10{\cdot}5\,u,$$

tehát a hang a vasban 10·5-szer nagyobb sebességgel terjed, mint a levegőben.

MÁSODIK SZAKASZ.

A hang visszaverődése és törése.

A visszhang észlelése a hang visszaverődésének tanulmányozására vezetett. Bacon ugyan már kimondotta, hogy a hang olyan törvények szerint veretik vissza, mint a fény, melynek egyszerű törvényei már régóta ismeretesek voltak; azonban állítását be nem bizonyította.

Csak Newton hozta teljesen tisztába e kérdést, a hullámzó mozgás elméletének rendszeres megállapítása által.

I. A hang visszaverődése.

1. Ha valamely hullámzó mozgás egyenletes tömegben, vagyis olyanban, melynek sűrűsége és ruganyossága mindenütt ugyanaz, terjed, úgy soha vissza nem térhet, hanem az új rétegekre átmenve, az előbbieket nyugvásban hagyja vissza. Ép úgy, mint valamely rugalmas golyó, ha egy másikra, vele egyenlő tömegüre ér, ennek egész sebességét átadja, míg maga nyugvásban marad: úgy a hullámnak minden egyes rezgő tömecse, egész sebességét a vele egyenlő tömegűnek adja át. A hullámzó mozgás tehát egyenletes tömegben egyszerűen tovább halad, anélkül, hogy valaha visszatérne.

Máskép áll azonban a dolog, ha a hullám két különböző tömeg határához ér. Ha valamely rugalmas golyó egy másikkal találkozik, melynek tömege kisebb vagy nagyobb, úgy az mindkét esetben mozgásban marad. Ha a második golyó tömege nagyobb az elsőénél, úgy az első golyó visszalöketik, és a második előrehalad. Ha a második kisebb, úgy az első golyó mozgását kisebb sebességgel tovább folytatja. A hullámnak szintén e törvényeket kell követnie, mert itt is az egyes pontok mozgása szomszédjaik hatásából ered. Ha valamely hullám két különböző közeg határához ér, úgy a mozgás a második közegben sűrűségének és ruganyosságának megfelelő sebességgel terjed tovább. De az első közeg utolsó pontjai szintén mozgásban maradnak, akár sűrűbb, akár ritkább a második közeg.

Ha a második közeg ritkább az elsőnél, úgy az első közegből a határfelületen levő tömecsek mozgásaikat tovább folytatják, de sebességük kisebb az előbbinél, és ez által az első közeg tömecsei nem jöhetnek nyugvásba, hanem a határfelülettől visszafelé irányzott hullámokat alkotnak, melyek a kisebb erélynél fogva gyengébb hangnak felelnek meg.

Ha a második közeg sűrűbb az elsőnél, úgy a határfelülethez érő tömecsek visszalöketnek. A sűrűbb közeg hatása tehát az, hogy a határfelülethez érő pontok egy, eredeti mozgásukkal ellenkező im-

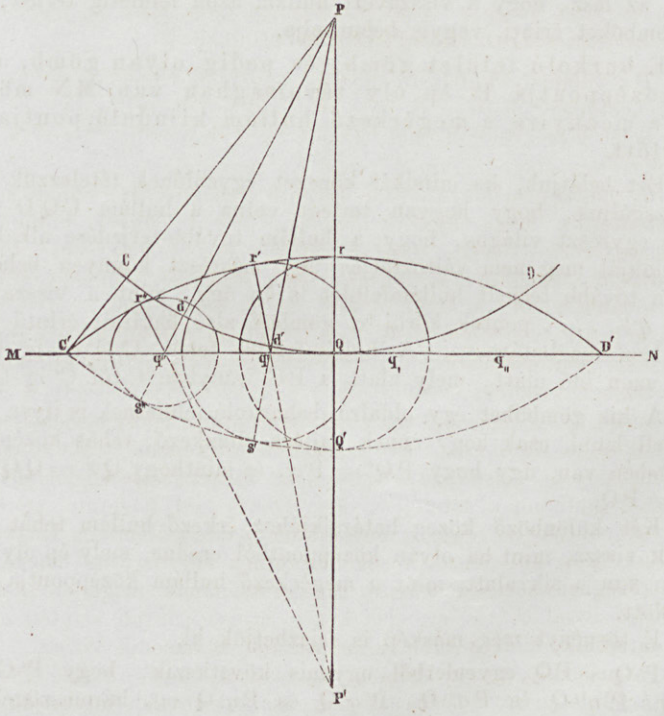
pulsust nyernek. Ez által az első közegben az eredeti hullámokkal ellenkező irányú hullámok képződnek; míg azok a második közegben, az ennek megfelelő sebességgel, szintén tovább terjednek.

Mindkét esetben a visszafelé irányzott hullám visszavert, reflectált hullámnak neveztetik.

2. A hullám visszaverődésének törvénye. — Vizsgáljuk meg már most, hogy mily törvények szerint képződnek a visszavert hullámok.

Legyen P (117. ábra) az első közeg hullámjainak középpontja, CD egy hullámnak és MN a közeg határsíkjának keresztmetszete. Legyen továbbá PQ merőleges MN-re, tehát Q az első pont, mely a hullámzó mozgással találkozik. A határfelület minden pontja egy

117. ábra.



az első közegbe visszamenő hullám középpontjává válik, amint a hullámmal találkozik. Legelőször tehát Q-ból indul meg a visszavert hullám. Miután azonban, a mint fönnebb láttuk, a hullám terjedésének sebessége független a hullám minőségétől, hanem csupán a közegtől függ, melyben a hullám terjed, azért a visszavert hullám ugyanoly sebességgel fog haladni, mint az eredeti; azon idő alatt tehát,

melyben a C vagy D ponttól, melyek Q-tól egyenlő távolságban vannak, a mozgás C' vagy D'-ig terjedt, azalatt Q-tól a hullám oly félgömbben terjedt tovább, melynek sugara $Qr = CC'$. A határfelület q', q'', $q_,$, $q_{,,}$ pontjai később érintkeznek a hullámmal, mint a Q pont és pedig annyival később, a mennyi idő alatt a megérkező hullám a $d'q'$, $d''q''$ utakat leírja. Mialatt tehát a mozgás Q-tól egy Qr sugarú félgömbre terjed, q'-től oly félgömbre terjed, melynek sugara $q'r' = Qr - q'd'$; q''-től pedig egy, $q''r'' = Qr - q''d''$ sugarú félgömbre, és így tovább; valamennyi pontból olyan sugarú félgömbig terjed a mozgás, melynek hoszsza Qr-nél azon hosszúsággal kisebb, melyen a hullámzó mozgásnak még el kellett haladnia, hogy az illető pontot rezgésnek indítsa.

Ha az egyes tömecsek a határfelület pontjaitól visszalöketve, a félgömbök által határolt tért futják át, úgy valamennyi pont együttes hatása az lesz, hogy a visszavert hullám azon felületig terjed, mely e félgömböket érinti, vagyis beburkolja.

E burkoló felület gömb, és pedig olyan gömb, melynek középpontja P' ép oly távolságban van MN mögött, mint a mennyire a megérkező hullám kiinduló pontja van MN előtt.

Ezt belátjuk, ha mindkét közeget egyenlőnek tételezzük fel és megvizsgáljuk, hogy hogyan terjedt volna a hullám CQD-n túl. Amint egyrészt világos, hogy a hullám tovább-terjedése alkalmával gömbalakját meg nem változtatja, úgy másrészt könnyen belátható, hogy a tovább terjedt hullámfelület is ép úgy, mint a visszavert a Q, q', q'' ..... pontok körül írt gömbök alsó határait érintő felület által lesz meghatározva. A hullámfelület tehát C'Q'D'-ig terjedt volna azon idő alatt, mely alatt a PC irányban C-től C'-ig terjedt.

A kis gömböket egy oldalról beburkoló felületnek is ilyen gömbnek kell lenni, csak hogy ennek hajlása ellenkező, tehát középpontja alul P'-ben van, úgy hogy $PQ' = P'r$, és minthogy $Qr = QQ'$ azért $P'Q = PQ$.

Két különböző közeg határsíkjához érkező hullám tehát akkép veretik vissza, mint ha olyan középpontból eredne, mely ép oly távolságban van a sík alatt, mint a megérkező hullám középpontja van a sík fölött.

E törvényt még máskép is fejezhetjük ki.

$P'Q = PQ$ egyenletből ugyanis következik, hogy $P'C'Q$ és $PC'Q$, $P'q''Q$ és $Pq''Q$, $P'q'Q$ és $Pq'Q$ sat. háromszögek egymást födik, tehát hogy

$$P'q''Q\measuredangle = Pq''Q\measuredangle$$

$$Pq'Q\measuredangle = Pq'Q\measuredangle \quad \text{s. i. t.}$$

s minthogy $P'q''Q\measuredangle = r''q''C'\measuredangle$ és $Pq'Q\measuredangle = r'q'C\measuredangle$

azért

$$Pq''Q = r''q''C'$$

$$Pq'Q = r'q'C'$$

vagyis azon szögek, melyek alatt a megérkező és a visszavert hullám sugarai a határsíkot metszik, egymással egyenlők.

A határsík valamely pontjára emelt merőlegest beeső merőlegesnek, és azon szöget, melyet a megérkező hullám sugara e merőlegessel képez beeső szögnek nevezik; mig azon szög, melyet vele a visszavert hullám sugara képez, a visszaverődés szöge.

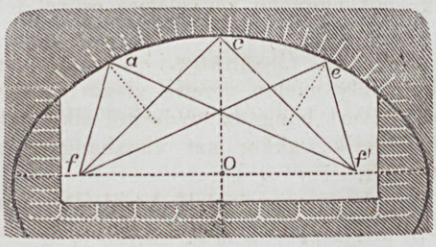
Azon szögek egyenlőségétől, melyet a megérkező és visszavert hullám sugarai a határfelülettel képeznek, következik, hogy a beeső szög egyenlő a visszaverődés szögével.

A törvény ezen alakja különösen alkalmas a görbe felületeken történő visszaverődés tanulmányozására. A görbe felületet ugyanis igen kis síkokra szétbontva képzelhetjük, melyek deréklői azonban nem mint a síknál párhuzamosak, hanem folytonosan változó irányuak. A visszaverődés törvénye bármily kis síkra érvényes lévén, csak a görbe felület deréklőit kell ismernünk, hogy valamely pontjába ütköző hullám visszaverődésének irányát megszerkeszthessük.

Ha két közeg határa például gömbfelület, úgy a felület bármely pontjára emelt merőlegesek a gömb sugaraival összeesnek. Egy, a határhoz érkező hullám tehát oly módon veretik vissza, hogy a megérkező és visszavert hullám iránya a gömb sugarával egyenlő szöget képez. Ha a hullámzó mozgás a gömb középpontjából indul ki, úgy a visszavert hullámok ismét a középpont felé tartanak.

3. **E törvény kisérleti bebizonyítása.** — E célra a törvényt különböző esetekre alkalmazzuk, és megvizsgáljuk, hogy a nyert eredmények a tapasztalattal megegyeznek-e. Igy például egy kerülék forgásából származó felületről az egyik gyüjtőpontból kiinduló sugarak fa, fc, fe (118. ábra), az előbbi törvény szerint akkép veretnek vissza, hogy a másik gyüjtőpontban, f'-ben találkoznak. És csakugyan ilyen esetben azt tapasztaljuk, hogy ha valaki f-nél egészen halkan beszél, a beszédet f'-nél tisztán meg lehet érteni, mig az a tér bármely más pontjában nem hallatszik. A párisi Louvre-épület egy terme ilyen szerkezetü lévén, ott e kisérletet mindenkor meg lehet tenni.

118. ábra.

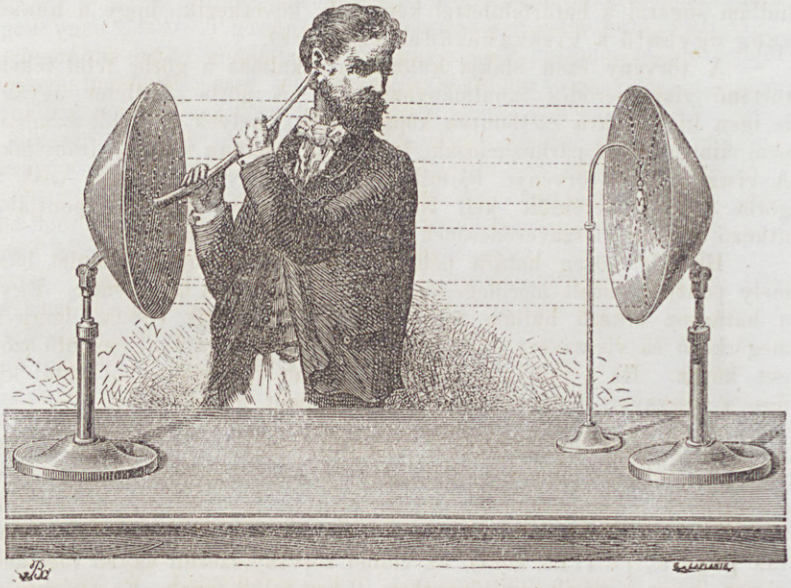


A forgási paraboloid továbbá azon tulajdonsággal bir, hogy a tengelyével párhuzamosan húzott vonal olyan szöget képez a felület deréklőjével, melyet, ha a deréklőn túl ismét felrakunk, mindig a gyüjtőpont felé irányzott vonalat nyerünk. Ebből következik, hogy a tengelylyel párhuzamosan érkező hullámok mind a gyüjtőpont felé veretnek vissza és viszont a gyüjtőpontból kiinduló sugarak a tengelylyel párhuza-

mosan veretnek vissza. Innen is nyerték a gyüjtőpontok elnevezésüket.

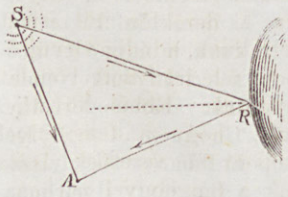
Hogy ha tehát két egyenlő, homorú felületükön kisimított paraboloid-szeletet, 5 egész 6 méter távolságban, egymással szemben felállítunk, mint azt a 119. ábra mutatja, úgy azt tapasztaljuk, hogy

119. ábra.



az egyik gyűjtőpontban elhelyezett óra ketyegését a másik gyüjtőpontban egészen tisztán lehet hallani, mig a közbeeső térben semmi sem hallatszik. Az óra ütéseiből származott hullámok ugyanis a gyüjtőpontból indulván ki, a tengelylyel párhuzamosan veretnek vissza; a másik felülethez a tengelylyel párhuzamosan érkező hullámok pedig a gyüjtőpontban találkoznak, miáltal ismét oly erős hullámot létesitenek, hogy tisztán kivehető hangot adnak, mit nagyobb kényelemre csővel lehet a fülhöz vezetni.

120. ábra.



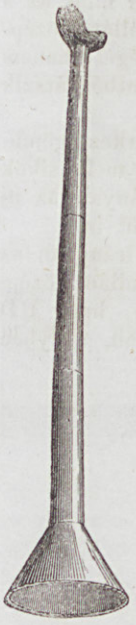
4. A visszhang. — Ha valamely hang oly módon veretik vissza, hogy a visszavert hang az eredetitől elkülönitve hallatszik, akkor azt visszhangnak nevezzük.

Legyen az észlelő A-nál (120. ábra) és S azon pont, melynél rövid tartamú hang állíttatik elő. E hang $t = \frac{SA}{331}$ másodperc alatt elérkezik A-hoz, mig az

R-nél visszavert hang $T = \frac{1}{331}(SR + RA)$ másodperc alatt érkezik ismét A-hoz, minthogy most $SR + RA$ utat kell leírnia, egy másodperc alatt pedig 331 métert halad. Ha a $T - t$ időköz elég nagy, hogy a visszavert hang csak akkor érkezik A-hoz, ha a direkt hang már elhangzott, úgy A-nál visszhang létesül. Ha a két hang egymással találkozik, úgy az eredeti csak meghosszabbíttatik. Látni való, hogy az eredmény az előállított hang tartamától, és az SA és $SR + RA$ utak különbségétől függ.

Ha ez útkülönbségből származó időkülönbség $T - t$ elég nagy, hogy több szótagot lehessen kiejteni, akkor a visszhang **több-szótagú**.

121. ábra.



Igen gyakran az S pont összeesik A-val, vagyis a hang ismét oda veretik vissza, a honnan kiindult. Ez akkor áll elő, ha a hang merőlegesen ütközik a tárgy felületéhez. Ekkor $t = o$, $SA = o$ és a visszhang csak SR távolságától függ.

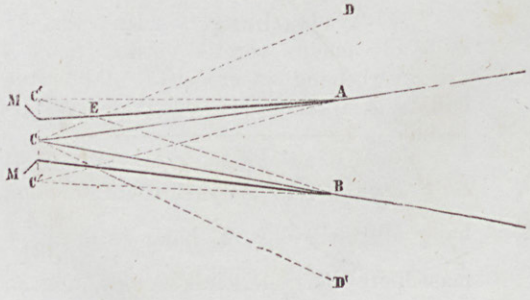
Többszörös visszhang, vagyis olyan, mely többször ismétli ugyanazon hangot, úgy áll elő, hogy a hang több különböző távolságban lévő tárgytól veretik vissza.

5. **A szócső.** — Gyakran használt alkalmazása a hang visszaverődés törvényének: a szócső. Ez arra szolgál, hogy a beszélő hangját még oly távolságra is érthetővé tegye, melyben a hang szabad kiterjedésénél már nem hallatszik. Többen azt állítják, hogy e műszer már az ó-korban ismeretes volt, azonban ki lőn mutatva, hogy a szócsöveknek tartott műszerek fuvó hangszerek, trombiták voltak. E műszert Morland 1670-ben találta fel. E cső legegyszerűbb alakját a 121. ábra mutatja. A szájt a cső végére alkalmazott űrbe helyezzük és a csövet azon hely felé irányítjuk, melyhez beszélni akarunk.

Tegyük fel, hogy a hang a cső közepén C-ben áll elő (122. ábra), úgy a hanghullám CAB része akadálytalanul fog kiterjedni.

Azon rész ellenben, mely a DCA kúp által határoltatik, az MA fal különböző pontjairól visszaveretvén, akkép terjed tovább, mint ha C'-ből indult volna el; minélfogva ez a hullámrész is a CAB kúpon belül terjed tovább és a hangot a cső tengelyének irányában megerősíti. Ugyanez áll a BCD' hullámrészről. Látni való, hogy ilyen mó-

122. ábra.



don a DCD' közt lévő hullámrész egy kisebb kúpba szorul, miáltal a hang a cső tengelyének irányában tetemesen megerősíttetik. A hullám azon részei, melyek E mögött találják a cső falát, többszöri visszaverődés által MA falról MB-re, ismét vissza s i. t. a csövet nagyrészt szintén tengelyének irányában hagyják el, és így ezek is erősítik a hangot.

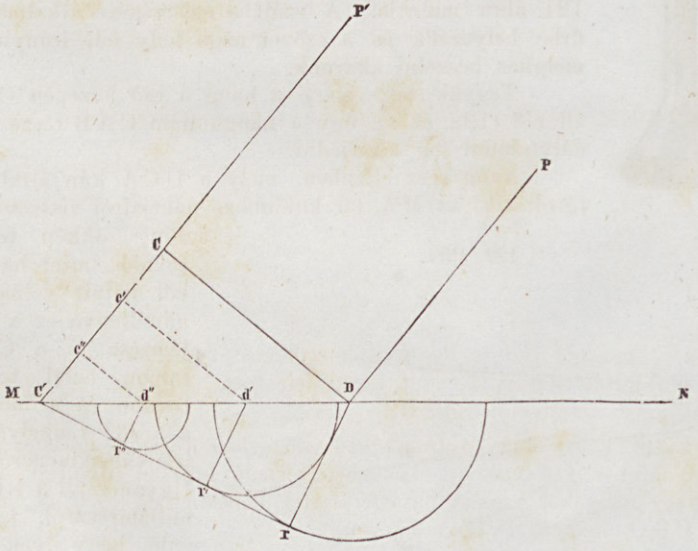
II. A hang törése.

1. Két különböző közeg határfelületéről, a mint fönnebb láttuk, nem csak visszafelé irányzott hullámok keletkeznek, hanem a megérkezett hullámok a második közegben is, az ennek megfelelő sebességgel terjednek tovább. A határfelület minden pontja, a mint az a hullámmal találkozik, egy, a második közegben terjedő hullám középpontjául tekinthető. E hullám azonban nem csak sebességét, hanem terjedésének irányát is megváltoztatja, azaz más középpontból látszik jönni, mint az eredeti hullám.

Hogy az eltérítés törvényét megállapíthassuk, a megérkező gömbalakú hullámot igen kis síkokra képzeljük szétbontva, mely síkok irányai a hullám sugaraival esnek össze. Ha e síkok irányait az uj közegben ismerjük, könnyen megszerkeszthetjük a hullámot is.

Legyen CD (123. ábra) egy ilyen sík, mely PD irányban az MN határsík felé halad. Tegyük fel, hogy a megérkező hullám középpontja, melynek CD egy igen kis része oly távol van, hogy PD és P'C-t párhuzamosaknak tekinthetjük. Azon pillanatban, melyben

123. ábra.



a CD hullámrész az MN felület D pontját éri, D-ből a második közegbe egy hullám indul el.

Ha a továbbterjedés sebessége az első közegben u, és a másodikban u', úgy az egyenlő időben leírt utak oly viszonyban vannak, mint u az u'-hez.

Azon gömb sugara (Dr) tehát, melyen a hullám azalatt terjed, mialatt az első közegben C-től C'-ig ér, így adódik ki:

$$Dr = CC' \cdot \frac{u'}{u}.$$

D és C' közt levő pontokból is terjednek hullámok a második közegben, de annál később, a mennyivel maguk a határfelülettől elkésnek. Valamely d' pontból a mozgás csak akkor indul meg, ha a mozgás az első közegben $c'd'$-ig haladt. Ha a mozgás az első közegben C'-ig haladt, úgy d'-ből a második közegben olyan gömbig terjedt, melynek sugara

$$d'r' = c'C' \frac{u'}{u}.$$

A határ, a meddig a mozgás a második közegben terjedt mialatt az elsőben C'-ig ért, a d pontok körül írt gömbök érintő síkja.

Könnyen belátható, hogy a C' pontból a Dr sugarú gömbre fektetett érintő sík, valamennyi a d pontokból az illető sugarakkal vont gömböket érinteni fogja. Mert ha d'-ből C'r-re a $d'r'$ merőlegest meghúzzuk, úgy C'rD háromszög hasonló C'$r'd'$ háromszöggel, és így:

$$d'r' : Dr = C'd' \cdot D'D.$$

Ép úgy hasonlók a CDC' és $c'd'C'$ háromszögek, miből

$$C'd' : C'D = c'C' : CC'. \qquad \text{És így}$$

$$d'r' : Dr = c'C' : CC'.$$

Minthogy továbbá

$$Dr = CC' \frac{u'}{u} \qquad \text{azért}$$

$$d'r' : CC' \frac{u'}{u} = c'C' : CC' \qquad \text{tehát}$$

$$d'r' = c'C' \frac{u'}{u}$$

azaz a d' pontból C'r-re bocsátott merőleges azon gömb sugara, mely az előbbi föltét szerint d' pont körül leiratott. Ugyanez áll a többi d pont körül irt gömbről is.

Látni való, hogy CD az első közegben terjedő hullám más irányú, mint C'r a második közegben terjedő hullám. Jelöljük azon szögeket, melyeket ezek a határfelülettel képeznek φ és φ'-el, úgy, hogy $CDC' = \varphi$ és $D'C'r = \varphi'$, úgy

$$\sin\varphi = \frac{CC'}{C'D} \qquad \text{és}$$

$$\sin\varphi' = \frac{Dr}{C'D} = \frac{\frac{u'}{u} \cdot CC'}{C'D} \qquad \text{és ebből}$$

$$\frac{\sin\varphi}{\sin\varphi'} = \frac{u}{u'}.$$

Tekintetbe véve, hogy a D pontban képzelt beeső-merőleges, DP-vel, a hullám sugarával szintén φ szöget képez, mondhatjuk, hogy azon szögek sinusai, melyeket a beeső hullám sugara és a megtört hullám megfelelő sugara a beeső-merőlegessel képeznek, oly viszonyban vannak, mint a terjedési sebességek az illető közegekben. Minthogy e sebességek csak a közegek minőségeitől függnek, azért ugyanazon közegeknél e szögek sinusainak viszonya állandó szám.

Valamely hullámnak egyik közegből a másikba való átmenetelénél az egyes hullámsugarak mindig megtöretnek és pedig akkép, hogy, ha a hullám ritkábból sűrűbb közegbe megy, a beeső merőleghez töretnek, és ha sűrűbből ritkábba megy, a beeső-merőlegestől eltöretnek.

2. **E törvény kisérleti bebizonyítása.** — Hogy a hang csakugyan a levezetett törvény szerint töretik meg, azt Hajech nagyszámú kisérletei által bizonyította be.

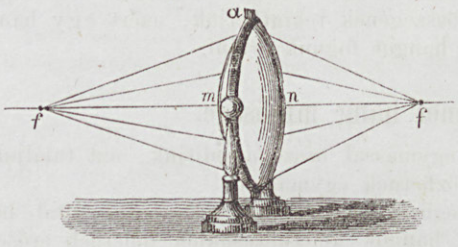
Hajech két szoba választó-falán át egy, 77 milliméter átmérőjű csövet bocsátott. E cső két vége membranok által volt elzárva. Egy másik cső, melynek tengelye az előbbinek meghosszabbításába esett, tartalmazta a hangzó műszert. Az észlelő a másik teremben volt, melynek padozatára egy osztályzott kör volt rajzolva, melynek középpontja a cső végéből bocsátott merőlegesbe esett.

Ha a cső levegővel volt megtöltve, úgy a membranok bármily hajlásuak lehettek, a hang egyenesen a tengely irányában terjedt. De ha a cső más gázzal vagy folyadékkal volt megtöltve, úgy a hang megtöretett, a mi azáltal volt észlelhető, hogy nem a cső tengelyének irányában, hanem más irányban hallatszott legjobban. Az észlelő a cső végének magasságában a körvonal fölött addig változtatta helyét, míg a hangot legerősebben hallotta; a fülből lebocsátott merőleges a kört egy pontban találta, a mely ponthoz tartozó sugár megadta a hang irányát. Azon szög, melyet e sugár a beeső-merőlegessel képezett, volt a törési szög. A beeső szöget pedig a cső tengelye és a membranra bocsátott merőleges adta meg. Hajech ily módon a következő beeső szögekhez tartozó törési szögeket nyerte; az utolsó oszlop a képlet szerint : $\sin\varphi = \frac{u}{u'} \sin\varphi'$ kiszámított értékeket tartalmazza :

Anyag	Beeső szög	Törési szög észlelt	Törési szög kiszámított
Hydrogen	35° 50′	8°	8° 50′
„	25	7	6 22
Ammoniakgáz . .	41	29 20′	30 22
„ . .	35 50	25	26 50
Világítógáz . . .	35 50	25 40	—
Szénsav	35 50	49 50	48 19
„	25	33 20	32 33
Kútvíz	35 50	7 40	7 58
„	25	5 40	5 37
Telít. konyhasóoldat	35 50	6 15	—
„ „	25	5 10	—

Sandhauss szénsavval telt vékony collodium-lencsével bizonyította be a fönnebbi törvény helyességét. Ha két gömbfelületet képező collodium- vagy vékony kaucsuk-lapot fémkarikával összekapcsolunk (124. ábra) és az *a* nyiláson át a levegőnél sűrűbb gázzal, például szénsavval megtöltjük, úgy nyerjük a Sandhauss-féle hanglencsét. A fönnebbi törvények alkalmazása által könnyen meggyőződhetünk arról, hogy e lencse tengelyének, azaz a gömbfelületek középpontjait (*m*, *n*) összekötő egyenesnek egy pontjából kiinduló sugarak akkép töretnek meg, hogy a lencse másik oldalán ugyancsak a tengely valamely pontjába gyülnek össze.

124. ábra.



És csakugyan, ha a tengely S pontjába egy zsebórát teszünk, úgy ennek ketyegését a tengelyben az S-nek megfelelő *f* pontjában halljuk legerősebben.

HARMADIK SZAKASZ.

A hang minősége.

I. Physikai különbség a zene és zörej között.

Láttuk, hogy gyorsan egymásután következő hanghullámok folytonos hangot adnak; ha e folytonos hangokat közelebbről vizsgáljuk, úgy mindenek előtt kétfélékre oszthatjuk fel és pedig zörejre és zenei hangokra.

A zörej olynemü benyomást gyakorol ránk, mint szabálytalanul egymásután következő lökések. Ha figyelemmel kisérjük, úgy halló szervünk rázkódtatása bennünk öntudattá válik; míg a zenei hang simán és egyenletesen folyik le. Ilyen sima és egyenletes hangot mindannyiszor nyerünk, valahányszor egyenlő hanghullámok egyenlő időközökben érik halló szerveinket, s miután ilyen hullámok legegyszerűbben a ruganyos testek rezgései által létesíttetnek, azért a zenére használt hangok ilyen módon állíttatnak elő.

A zörejt vezető levegő egészen szabálytalan hullámokat alkot, a miről a fönt használt (114. ábra) készülékkel győződhetünk meg. Ha ugyanis a láng tövéhez illesztett cső nyilt végénél „*r*"-hez, vagy „*z*"-hez hasonló zörejt idézünk elő, úgy a forgó tükörben a hullámokat ábrázoló csipkék nem lesznek oly szabályosak, mint a 115. ábrában lerajzoltak, hanem rövid és hosszú, keskeny és széles csipkék szabálytalanul fogják egymást űzni. A mint az ehez hasonló pislogó láng kellemetlenül hat a szemre, a folytonosan megujuló benyomások által, úgy a zörej is kellemetlenül hat a fülre. Vizsgálatunk tárgyává csak a szabályos lökések által létesített hangot teszszük. Minthogy a zörejt mindig több hang összegének tekinthetjük, azért egy hang alatt a következőkben zenei hangot fogunk érteni.

II. A zenei hang minősége.

Ha a zenei hangokat egymással összehasonlítjuk, azt találjuk, hogy háromféleképen különbözhetnek egymástól:

1) Különböznek erősségben. Eltekintve a terjedés által bekövetkező elgyöngüléstől, a hangok keletkezésüknél lehetnek erősek és gyöngék.

2) Olynemű különbséget találunk, melyet mélység- és magasságnak neveztek el.

3) Ugyanazon erősségű és magasságú hangok is különbözhetnek egymástól, mely különbség teszi lehetővé a különböző módon előállított hangok felismerését. Igy például azonnal meg tudjuk különböztetni a fuvola hangját a vele egyenlő magasságú és erősségű hegedű hangjától. A hang e nembeli tulajdonságát a hang jellegének fogjuk nevezni*).

Minthogy a zenei hangok a ruganyos testek rezgései által létesülnek, azon kérdés merül fel, hogy a hang e három tulajdonsága a rezgések milyen változásaiból ered.

Vizsgáljuk meg tehát, hogy milyen tekintetben különbözhetnek egymástól a rezgések. Változhat

1) a rezgés táglata,

2) az időegységben tett rezgések száma, és

*) Az e tulajdonság kifejezésére használt „hang-szinezet (Klangfarbe)" szót mellőzzük, mert ez a fénynyel való helytelen összehasonlításból ered. — A fény különböző szinének a hang különböző magassága felel meg, mert mindkettő a rezgések számától függ.

3) az egyes rezgések minőségben is különbözhetnek egymástól.

Az utolsó pont felvilágosítására szolgáljon a következő. Rezgésnek neveztük a gyorsan ismétlődő periodikus mozgást. Azonban azon mozgás, mely ismétlődik, igen különböző lehet. Igy például, ha valamely kalapács lassú felemelését és lezuhanását képzeljük ismétlődve, más periodikus mozgást nyerünk, mint ha azt ép oly lassan bocsátjuk le, mint a hogyan felemeltük; vagy mást, ha azt növekedő sebességgel felemeljük és ép oly szabály szerint leeresztjük. A különböző módon előidézett rezgésekben is fogunk ilynemű különbségeket találni.

A következőkben a rezgések három tulajdonságát a hang három tulajdonságával fogjuk összeegyeztetni.

III. A hang erőssége.

A hang különböző erősségét a rezgés különböző táglata idézi elő, vagyis a rezgés sebességének változása a rezgés ugyanazon időtartama mellett. A nagyobb táglatnak erősebb hang felel meg.

A levegőhullám ugyanis annál nagyobb hatást gyakorol hallószervünkre, minél nagyobb a részecsek mozgási erélye. A mozgási erély pedig egyenes arányban van a tömeggel és a sebesség négyzetével. S minthogy a levegő-részecsek sebessége szükségkép kétszer akkora lesz, ha az őket megindító rezgés sebessége kétszer akkora, azért mondhatjuk, hogy a hang erőssége a rezgés sebességének négyzetével növekszik. De hogy kétszer akkora sebesség mellett egy rezgés tartama ne változzék, a rezgés táglatának kétszer nagyobbnak kell lennie, tehát: a hang erőssége a rezgés táglatának négyzetével növekszik.

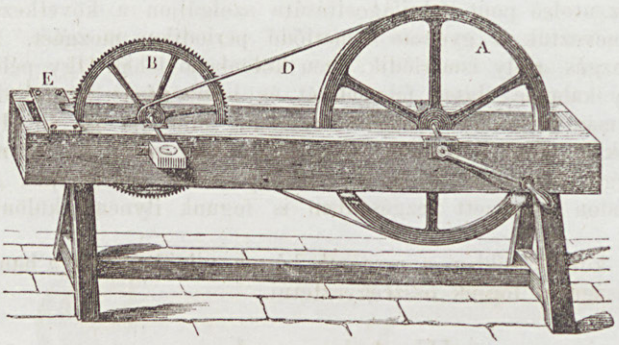
IV. A hang magassága. Hullámhossz.

1. Hogy a hang magassága a rezgési számtól függ, azt először Mersenne bizonyította be. Ő e célra oly hosszú húrokat használt, melyeknek rezgéseit meg lehet olvasni. E húroknál látta, hogy félszer akkora húr ugyanazon feszítés mellett kétszer annyi rezgést végez; s minthogy egy hangzó húrnak a fele az egész húr hangjának octávájat adja, azt következtette, hogy egy hang octávája kétszer annyi rezgés által létesül. A hosszú húrokat addig felezte, míg rezgéseik oly gyorsak voltak, hogy hangot adtak; így nyerte a zenében használt hangok rezgési számait.

Chladni e kisérleteket hosszú és vékony rudakkal ismételte. Az így nyert számadatok azonban nem igen megbizhatók. Sokkal nagyobb pontosságot ért el Savart, fogaskerekével tett kisérletei által.

2. **Savart fogaskereke.** — Itt a hang gyorsan forgatott fogaskerékhez illesztett kártyalap ütései által idéztetik elő. A készülék nehéz faállványból áll (*a*) (125. ábra), és egy nagyobb kerékből (A), mely forgatóval van ellátva; e kerék végtelen zsinór segítségével a (B)

125. ábra.



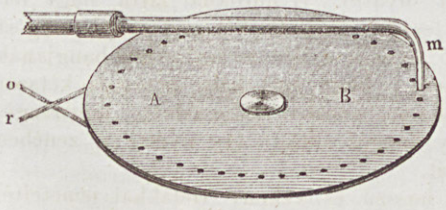
kisebb fogaskereket forgatja oly módon, hogy B sokkal gyorsabban forog A-nál. E-hez egy kártyalap van erősítve, mely a B kerék fogaival érintkezik.

Ha a kereket lassan forgatjuk, úgy a kártya egyes ütéseit tisztán meg lehet különböztetni egymástól; a mint a kerék azon sebességet elérte, hogy egy másodpercben 25—30 ütést tesz, az ütések már folytonos hanggá olvadnak össze, és ezen hang annál magasabb lesz, minél gyorsabban forgatjuk a kereket, vagyis minél több ütés esik egy másodpercre.

Ha a fogaskerék tengelyét végtelen csavar segítségével számoló géppel kapcsoljuk össze, úgy pontosan leolvashatjuk, hogy a kerék másodpercenként hányszor fordult meg, miáltal kiszámíthatjuk, hogy hány ütés keletkezett azon idő alatt. Ilyen módon megtudhatjuk, hogy hány ütés által származott bizonyos magasságú hang.

3. **A sirene.** — Savart kerekénél tökéletesebb készülék a sirene, melynél a hang kis nyilásokból kitóduló levegő ütéseiből származik. A sirene legegyszerűbb alakját a 126. ábra mutatja. Egy köralakú papiroslap, AB, széléhez közel, egyenlő távolságokban van átlukasztva. A papiros egy kisebb átmérőjü ónlap által van megerősítve és centrifugalgép által gyorsan forgatható. A nyilások fölé egy üvegcső *m* van alkalmazva, mely fuvókészülékkel áll kapcsolatban. Ha a cső épen az egyik nyilás fölött van, akkor az üvegcsőbe szorított levegő akadálytalanul megy keresztül; de ha a korongot forgatjuk, úgy a légáram rögtön megakadályoztatik és ismét szabad folyást nyer, a mint a cső vége egy átfúrt vagy át nem fúrt rész fölé kerül; ezáltal lökések támadnak, melyek ha elég gyorsan következnek

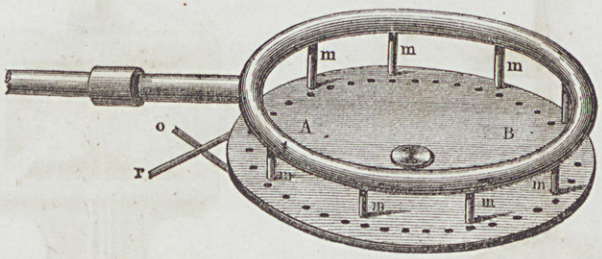
126. ábra



egymásra, hangot létesítenek. Minél gyorsabb a forgás, annál magasabb a hang.

Ha két csövet alkalmazunk, melyek egymástól ép oly távol vannak, mint két-két nyilás, úgy hogy, ha az egyik nyilás fölött van, a másik is nyilás fölött legyen, akkor kétszer oly erős hangot nyerünk, mint előbb, de a hang magassága ez által nem változik; ez csak a forgás sebességétől függ. A 127. ábrában látható berendezés-

127. ábra.



nél 9 cső van ily módon alkalmazva, miáltal tömött erős hangot nyerünk.

Ha megszámlálhatnók azon forgások számát, melyet a korong bizonyos időben tesz, úgy ismernők azon lökések számát, mely bizonyos magasságú hangnak megfelel.

Cagniard La Tour ezen elvre alapított készüléket szerkesztett, mely centrifugalgép nélkül forog és a forgási számot önmaga legnagyobb pontossággal följegyzi.

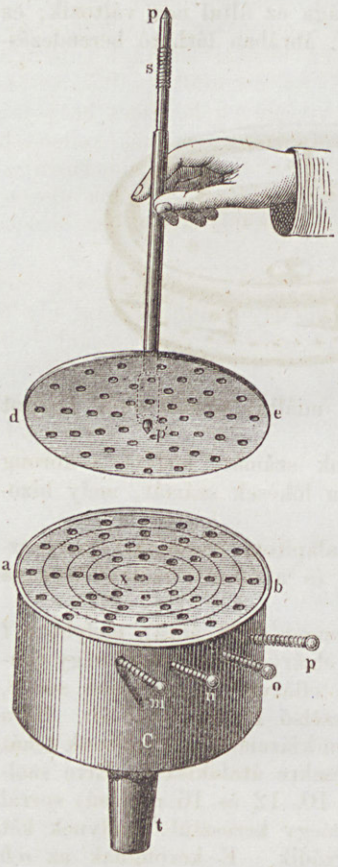
E gép főalkatrésze a C sárgarézhenger (128. ábra), melybe a t cső vezet; a henger ab rézfödéllel van elzárva, mely födél négy concentrikus kört képező nyilássorral van ellátva. A legbenső sor 8, a második 10, a harmadik 12 és a legszélső 16 nyilásból áll. Ha a t csőbe fuvunk, úgy a levegő a nyilásokon kiáramlik: feladatunk tehát e folytonos légáramot szakadozott lökésekre átalakítani. Erre szolgál a de rézlap, mely szintén négy (8, 10, 12 és 16 nyilású) sorral bír. E korong középpontján acélrúd megy keresztül, melynek két vége p és p' jól csiszolt hegyben végződik. E korongnak az ab lap fölött kell forogni. E célból ab középpontjában jól csiszolt acélmélyedés x van alkalmazva, melybe a pp' rúd alsó végét, p'-et illetsztjük. Fölső végére szintén ilyen acélmélyedést csavarunk (c) (129. ábra), úgy hogy a tengely függélyes állásban megtartatik és ebben igen csekély súrlódással forogható.

Ha már most C-be sűrített levegőt vezetünk, és egyidejüleg de-t forgatjuk, a légáramot egyes lökésekre bontottuk szét, mert a de korong majd szabad utat enged a levegőnek, majd elzárja azt.

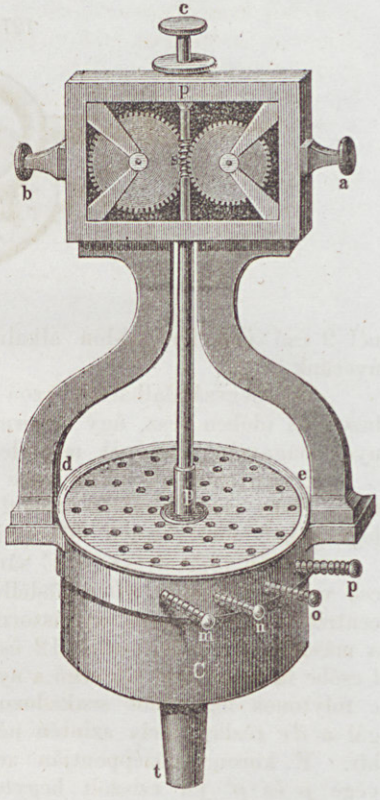
De egy igen elmés berendezés által a de korongot ugyanazon légáram hajtja, mely a hangot előidézi. E célból csak a nyilásokat ferdén kell fúrni és pedig úgy, hogy a rézhengert befödő ab lap nyi-

lásai ellenkező ferdeséggel bírjanak, mint a *de* korong nyilásai. A levegő ezáltal ferde irányban tódul ki a hengerből, és a *de* korongba ütődve, azt forgatja.

128. ábra.



129. ábra.



4. **Adott hang rezgési száma.** — A sirene vagy a fönt leirt és kellőleg berendezett fogaskerék segítségével bármily hangnak megfelelő lökések számát határozhatjuk meg. E meghatározás azon alapszik, hogy kellő gyakorlat után két hang közötti legcsekélyebb magasságkülönbséget határozottan észreveszünk. S minthogy másrészt valamely test rezgése által előidézett hanghullámok is csak azáltal keletkeznek, hogy minden egyes rezgés által a levegőrészecsek ellöketnek, azért a sirene vagy a fogaskerék lökéseinek számát, a rezgő test rezgéseinek számával cserélhetjük fel.

Hogy ha tehát valamely hangzó test, például a nyirettyüvel meghúzott hangvilla rezgéseinek számát kivánjuk meghatározni, úgy

azt keressük, hogy a sirene ugyanoly magas hang előidézésénél hány lökést tesz az időegységben.

5. **A hang zenei összefüggése.** — Ha két hang egyszerre vagy egymásután hangzik, úgy egy, a két hang egymáshozi viszonyát jellemző benyomást gyakorol ránk. E benyomás független az egyes hangok magasságaitól, hanem csak magasságaik, vagyis rezgési számaik viszonyától függ. A két hang közötti viszonyt intervallum-nak vagy accord-nak nevezik. Az accordokat általában két csoportra oszthatjuk fel: 1) olyanokra, melyek kellemes benyomást gyakorolnak halló érzékünkre, és 2) olyanokra, melyek kellemetlen benyomást gyakorolnak rá. Az első esetben az accord összhangzó, a másodikban széthangzó. Mielőtt a különböző accordok viszonyszámait megállapítanók, meg kell ismerkednünk a zenében használt hangsorozattal.

6. **A hanglejtő vagy scala.** — A zene azon művészet, mely részint a hangok együtthangzása, részint egymásutánja által oly benyomást gyakorol kedélyünkre, mint más művészi mű, például költemény, kép sat. E cél elérésére felhasználja a hangok fönnebb megismert három tulajdonságait; a hang váltakozó erősségét, a különböző műszerek által adott különböző jelleggel biró hangokat, de ezek csak mellékes szerepet játszanak azon túlyomó befolyás mellett, melylyel a hangok magasságai birnak. A zene alapját az accordok kellő alkalmazása képezi.

A gyakorlat, mely kétségkivül az emberiség kezdetétől napjainkig ér, azt mutatta, hogy csak igen kevés azon accordok száma, melyek a zenében célszerűen alkalmazhatók.

E gyakorlat által megállapított accordok száma szorosan véve 7., az ezeket képező hangok sorozata a hanglejtőt képezik. Ezek a zenében a következő betűk által szoktak jelöltetni:

C D E F G A H C.

A C hangot alapnak véve, a többi hang ehez viszonyított rezgési számai és az intervallumok nevei a következők:

Hangok	viszony-szám	intervallum neve
C : C	1 : 1	unisono
C : D	8 : 9	second
C : E	4 : 5	terc
C : F	3 : 4	quart
C : G	2 : 3	quint
C : A	3 : 5	sext
C : H	8 : 15	sept
C : C,	1 : 2	octav.

Vagyis az octáv két rezgést tesz, mialatt az alaphang egyet, a sept 15-öt, mialatt az alaphang 8-at s í. t.

Ezekből látjuk, hogy Pythagoras által a húr hoszszaiból nyert viszonyszámok egyszersmind a rezgési számok viszonyát adják meg.

E hangsorozat az octávától kezdve ugyanazon rendben ismétlődik, mert ép úgy, mint az octáva az alaphang kétszerese, úgy a következő hangsorozatban lévő hangok az itt adott hangok kétszeresei.

7. A zenében használt hangok absolut rezgési számai. — Eddig csak a hangok közötti viszonyszámokat ismertük meg. Az egyes hangok rezgési számait illetőleg a fönt leirt kisérletek azt mutatták, hogy a zenében használt legmélyebb hang (a 16 lábú orgonasíp hangja) 16·5 rezgést tesz egy másodpercben; e hangnak 8-ik octáván túl lévő hangokat, melyek 4138 rezgésnél többet tesznek, már ritkábban szokás használni.

Azon *a* hang, melyre a közönséges hangvillák szoktak hangolva lenni és mely irányadó hangul szolgál, körülbelül 440 rezgést tesz. De e tekintetben közmegegyezés még nem jött létre, úgy hogy néhol több, néhol kevesebb rezgésű hangot vesznek fel *a*-nak; és e szerint az egész zenekar magasabbra vagy mélyebbre van hangolva. Ha ezen *a*-hoz tartozó octávát 1-el jelöljük, a magasabbakat pedig 2, 3, 4, 5-el, a mélyebbeket semmi, —1, —2-vel, úgy a rezgési számok a következők (minden hang *a* változásának megfelelőleg szintén változik, itt *a* a párisi opera szerint 435-nek van véve):

$C_{-3} = 16{\cdot}16$
$C_{-2} = 32{\cdot}33$
$C_{-1} = 64{\cdot}66$
$C = 129{\cdot}32$
$C_1 = 258{\cdot}65$
$C_2 = 517{\cdot}30$
$C_3 = 1034{\cdot}60$
$C_4 = 2069{\cdot}20$
$C_5 = 4138{\cdot}40$

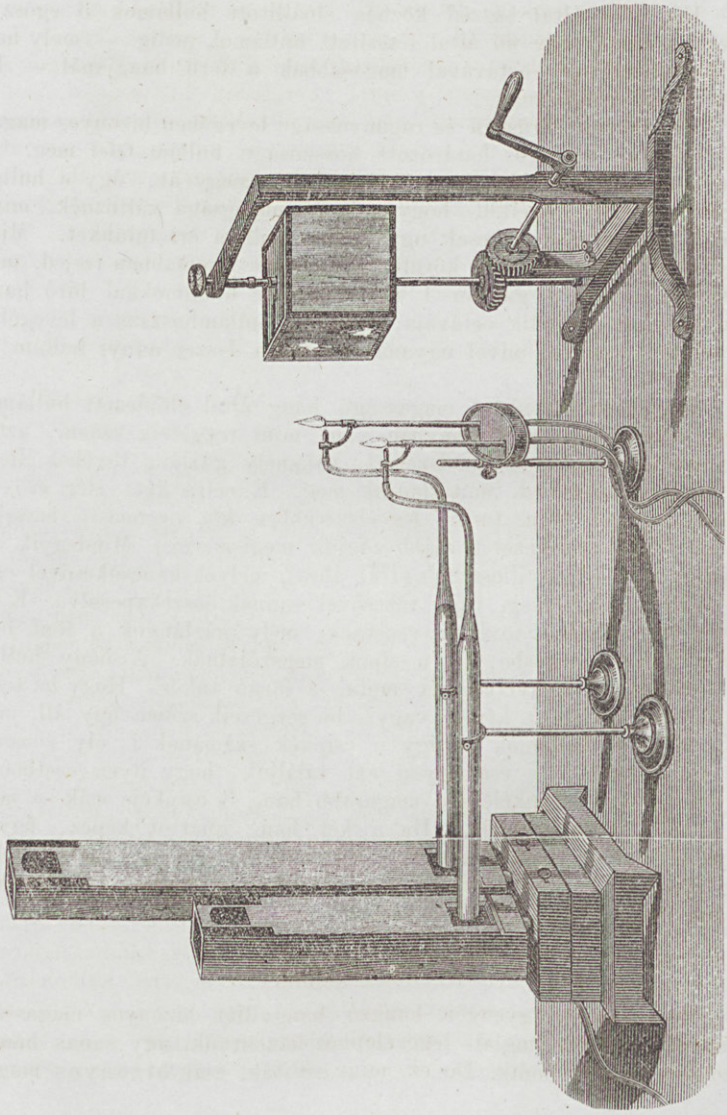
ezekből könnyű lesz kiszámítani, a fönt adott viszonyszámok segitségével, valamennyi a zenében használt hang rezgési számát.

8. A hallás határa. — Ép úgy, mint a hangok mélységében van bizonyos határ, melyen túl már nem hallunk folytonos hangot, hanem zörejhez hasonló lökéseket: úgy a magasságban is van bizonyos határ, melyen túl a rezgéseket halló szerveinkkel már épen nem veszszük észre. A legmélyebb hang a 16 rezgésü, mely a zenében is alkalmaztatik, de a legmagasabb hangot a zenében alkalmazni nem lehet, minthogy a c_5-ön felül lévő hangok már kellemetlen benyomást gyakorolnak. Azonban ennél még sokkal magasabb hangokat hallunk még, különösen ha azok elég erősek. Savart vizsgálatai szerint, melyeket fogaskerekével hajtott végre, még a fis_7 hangot ki lehet venni, és ez már 24000 rezgést tesz egy másodpercben; sőt Despretz azt állítja, hogy a d_8-t vagyis a 36000 rezgésü hangot is hallotta.

Ha ezeknél magasabb hangot hozunk létre, úgy azok hallószervünkre tökéletesen eltünnek, tehát megszünnek hangok lenni, habár a rezgéseket tényleg előállítjuk. Ebből látjuk, hogy hallószervünk csak bizonyos határig képes gyors rezgéseket felvenni és tudomásunkra hozni; e határon túl, mely különben különböző embernél különböző, a rezgés már nem létesit hangot.

9. Hullámhossz. — Az első fejezetben láttuk, hogy mily módon képződnek a hanghullámok valamely test rezgése által; ha az

ott nyert fogalmakat összevetjük a hangok magasságáról nyert fogalommal, úgy könnyen belátható, hogy a magasabb hang hulláma rövidebb, mint a mélyebb hangé. Minthogy a hang tovább-terjedési sebessége csak a közegtől függ, melyben terjed, azért a különböző magasságu hangok ugyanazon közegben, például levegőben, egyenlő sebességgel terjednek; minthogy pedig másrészt láttuk, hogy minden egyes rezgés alatt egyegy hullámhoszszal terjed tovább a hang: a különböző magasságú hangok hullámhoszszát ki tudjuk számítani, ha



130. ábra.

a hang rezgési számát és terjedési sebességét az illető közegben ismerjük.

Igy például a *c* hang egy másodpercre eső 130 rezgés által létesül, tehát azon úton, melyen a hang egy másodperc alatt elterjed, 130 hullám van. A hang 16 fokú levegőben 340 métert halad; a miből következik, hogy a *c* hang hullámhoszsza

$$\frac{340}{130} = 2{\cdot}6 \text{ méter.}$$

Egy férfi által beszéd közben előállított hullámok 3 egész 4 méter hosszuak; egy nő által létesített hullámok pedig — mely hangok körülbelül egy octávával magasabbak a férfi hangjánál — 1·5 egész 2 méter hosszuak.

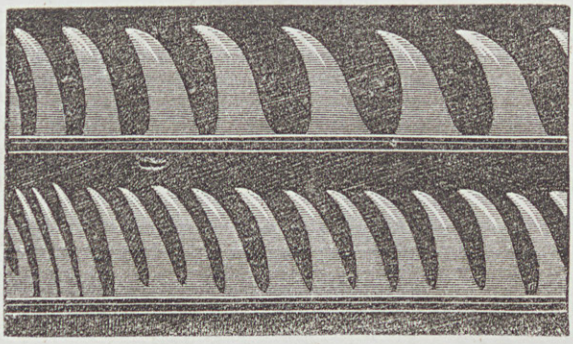
Ugyanazon sűrűségű és ruganyosságú levegőben bizonyos magasságú hangnak bizonyos határozott hosszúságú hullám felel meg. De ha a hang például hideg levegőből melegbe megy át, úgy a hullám meghosszabbodik, anélkül, hogy a hang magassága változnék, mivel egyenlő időben most is csak ugyanannyi hullám éri fülünket. Minthogy a hang hydrogenben körülbelül négyszer gyorsabban terjed, mint levegőben, azért e gázban 1 méter hosszú hullámokkal biró hang, azon hangnak második octávája, melynek hullámhoszsza a levegőben ugyancsak 1 méter; mivel ugyanazon időben 4-szer annyi hullám éri fülünket.

Hogy két különböző magasságú hang által előidézett hullámok száma csakugyan oly viszonyban van, mint rezgéseik száma, azt a már egy ízben használt módszerrel, valamely gázláng tövéhez illesztett hangvezető-csővel, mutathatjuk meg. E célra két, elég erős és állandó hangot választunk, legcélszerűbben két orgonasíp hangját. (Az orgonasíp szerkezetét alább fogjuk megismerni.) Mindegyik síp szájához egy csövet illesztünk (130. ábra), melyek kaucsukcsővel egy-egy szük nyilású üveg- vagy rézcsővel vannak összekapcsolva. E kis csövek két gázláng tövéhez vezetnek, mely gázlángok a fönt leírt módon jönnek rezgésbe, ha a sípok megszólalnak. A hány hullám éri a gázlángot, annyi csipkét mutat a forgó tükör. Hogy ha tehát a két hang quintet képez, vagyis ha rezgéseik száma úgy áll, mint 2 : 3, akkor a hullámok és így a csipkék számának is oly viszonyban kell lenniök; és csakugyan azt találjuk, hogy ilyen esetben a mélyebb hang 5 csipkéjére a magasabb hang 3 csipkéje esik, a mint azt a 131. ábra mutatja. Ha a két hang quartot képez, úgy a mélyebb hang 3 csipkéjére esik a másikból 4, s. í. t. Ezáltal tehát meg lehetünk győződve arról, hogy ugyanannyi hullám éri fülünket, a hány rezgés által létesül a hang.

V. Velehangzás.

Ha valamely gyengén hangzó hangvillát bizonyos magasságú ruganyos edényben foglalt légoszlophoz közelítünk, úgy annak hangja tetemesen megerősbödik. De ez, mint említők, csak bizonyos magas-

131. ábra.

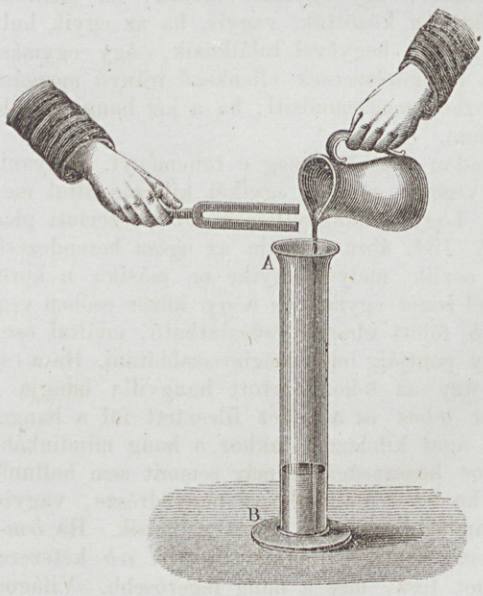


ságú légoszlop által történik, mely magasság csupán az illető hang magasságától, vagyis inkább annak hullámhoszszától függ. E magasságot legegyszerűbben puhatoljuk ki azáltal, ha elég magas üveghenger fölé tartjuk a hangvillát, és annak magasságát víz beöntése által addig kisebbítjük, míg a hang legerősebben hallatszik (132. ábra); a mint e határon túl is öntünk még vizet, a hang ismét elgyengül.

Az ily módon talált magasságok, mindig az illető hang hullámhoszszának negyedrészét teszik.

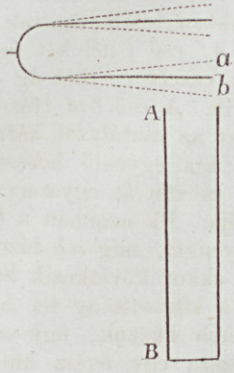
E tapasztalat alapján a tüneményt a következő módon magyarázhatjuk meg.

132. ábra.



Képzeljük a hangvillát a és b határok közt rezegve (133. ábra), és alatta a resonáló légoszlopot. Mialatt a hangvilla a-tól b-ig ér, a levegő az edény fenekéig sűríttetik

133. ábra.



össze, és még onnan vissza is veretik, mert az AB hosszúság $^1/_4$ hullámhosszat tesz; tehát a levegő ide-oda megy, míg a hangvilla egy fél rezgést végez. Ennél fogva a visszavert levegő azon pillanatban éri a hangvillát, melyben *b*-től elindul *a*-felé.

Ebből látjuk, hogy a visszaverődés által előidézett mozgás egyirányú lévén a hangvilla által előidézett mozgással, e kettő egymást erősbíti. Ezáltal a szabályosan egymásra következő rezgések oly heves mozgásba hozzák a levegőt, hogy ez az említett erős hangot adja. E tüneményt velehangzásnak, resonanziának nevezik. Alább látni fogjuk, hogy e tünemény egészen általános, hogy minden ruganyos test rezgésnek indíttatik, ha közelében a neki megfelelő hangot megszólaltatjuk.

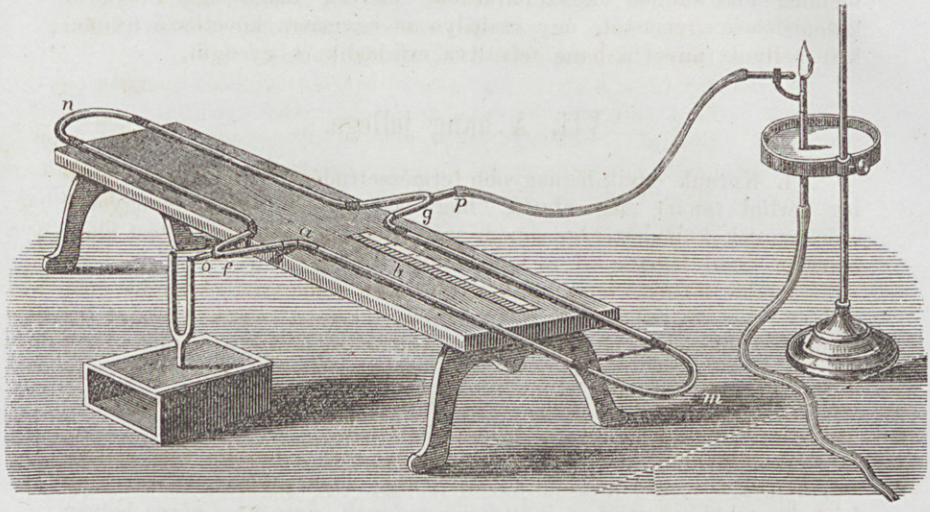
VI. A hanghullámok találkozása.

1. **Egyenlő hosszú hullámok találkozása.** — Ha két egyenlő hosszú hanghullám egy irányban terjed, úgy egymást erősíti vagy pedig gyöngíti: egyik a másik hatását megsemmisíti. Azaz két egyenlő magasságú hang nem minden esetben erősíti egymást, hanem ép oly könnyen megeshetik, hogy a kettő együttes hatása gyengébb mint az egyiké, vagy hogy épen megsemmisítik hatásaikat. Ezen, első pillanatra feltünő állítás könnyen belátható, ha a hang mivoltát tartjuk szem előtt.

Ha ugyanis két hanghullám akkép találkozik, hogy egyiknek hullámvölgye a másik hullámvölgyével épen összeesik, vagyis ha közöttük phasiskülönbség nincs, úgy egymást erősíti; ha azonban félhullámnyi phasiskülönbség van közöttük, vagyis, ha az egyik hullám völgye épen a másik hullám hegyével találkozik, úgy egymást megsemmisíti, minthogy a levegőrészecsek ellenkező irányú mozgása egymást részben vagy egészben megsemmisíti; ha a két hang egyenlő erős, teljes csend fog beállani.

Quinke egyszerű módon mutatta meg e tüneményt. Ugyanis a hangot olyan két csőbe vezette, melyek egyikét kihúzás által meg lehetett hosszabbítani úgy, hogy a hanghullámok tetszésszerinti phasisokban találkozhattak. A 134. ábra mutatja az egész berendezést. Az *of* cső *f*-nél két ágra oszlik, melyek egyike *m*, másika *n* körül van vezetve, e két ág *g*-nél ismét egyesül és a *gp* közös csőben végződik. A cső *bm* része *ab* fölött ide-oda csúsztatható, miáltal ezen részt az osztályzat bármely pontjáig lehet meghosszabbítani. Ha a cső két ága egyenlő hosszú, úgy az *o*-hoz tartott hangvilla hangja a két csövön át egyszerre ér *g*-hez és a *p*-hez illesztett fül a hangot hallja. Ha azonban a *bm* ágat kihúzzuk, akkor a hang mindinkább elgyengül, mig *ab* bizonyos hosszúságánál már semmit sem hallunk. Ez akkor következik be, ha *ab* a hullámhossz negyedrésze, vagyis, ha a kihúzott ág fél hullámmal hosszabb, mint a másik. Ha *bm*-t tovább húzzuk, úgy a hang ismét hallatszik, és ha *ab* kétszeres hoszsza egy egész hullámot tesz, úgy a hang legerősebb. Világos,

134. ábra.



hogy e módon a különböző hangok hullámhoszszait egyszerűen le lehet mérni.

Az ábrában a fül ismét a gázlánggal van helyettesítve, miáltal a tüneményt egyszerre egész hallgatóságnak lehet megmutatni. A forgó tükörben mutatkozó csipkék világosan mutatják a hang elgyengülését és erősbödését.

2. **Különböző hosszúságú hullámok találkozása.** — Az előbbi pontban láttuk, hogy két egyenlő hosszú hanghullám egymást erősítheti vagy gyöngítheti, de az eredmény állandóan ugyanaz maradt, a meddig a két hang hangzott, mivel mindenütt ugyanazon phasiskülönbségben találkoztak.

Ha azonban két nem egyenlő hosszú hullám találkozik, akkor az eredmény lényegesen eltér az előbbitől.

Ha ugyanis két, különböző rezgésszámmal biró hullám phasisküllönbség nélkül találkozik, úgy még sem fognak mindig a hullámhegyek és völgyek összeesni, minthogy azok az egyiknél gyorsabban következnek egymásra, mint a másiknál. Hogy ha például egy hang 1 másodpercben épen 1 rezgéssel végez többet, mint a másik, és phasiskülönbség nélkül találkoznak, úgy a mélyebb hang hullámai mindinkább elmaradnak a magasabb hang hullámaitól; úgy, hogy egy félmásodperc után a mélyebb hangból egy hullámvölgy, mig a magasabból épen egy hullámhegy képződik. A második félmásodperc után a mélyebb hang ismét egy fél hullámmal marad el, úgy, hogy az első másodperc végén ismét két hullámhegy találkozik.

Két ilynemű hullám tehát nem erősítheti vagy gyöngítheti egymást állandóan. Az észlelő fölváltva majd erősbödést, majd gyöngülést hall.

A tapasztalat tökéletesen igazolja e következtetést, mert ha egyidejűleg két hangot megszólaltatunk, melyek magasságai kevéssel különböznek egymástól, úgy szabályosan egymásra következő ütéseket hallunk, mivel a hang felváltva erősbödik és gyengül.

VII. A hang jellege.

1. Korunk egyik legnagyobb természettudósa Helmholtz (jelenleg berlini tanár) megmutatta, hogy az egyenlő magas és egyenlő erős hangok különbözősége onnan származik, hogy a hangzó test alaphangján kivül felhangjait is hangoztatja.

Alább láttuk, hogy a hangzó testek felhangjai olyan hangok, melyek 2-, 3-, 4-szer s í. t. több rezgést végeznek mint az alaphang. Azonban a különbség a különböző alakú testeknél abban áll, hogy egyesek az előbbi sorrend minden hangját adhatják, mig mások csak a páratlan vagy a páros helyeken állókat adják, és ismét mások még nagyobb ugrásokat képeznek.

A fölhangok jelenléte továbbá nem csak a hangzó test alakjától, hanem a rezgés megindításától is függ. Igy például, ha valamely húrt épen középpontjában indítunk rezgésnek, úgy ott a páros helyen álló felhangok csomópontja elő nem állhatván, e hangok kimaradnak; határozottan észre is lehet venni, hogy az igy megindított húr hangja nem oly tömött, kellemes csengésű, mint ha egyik végéhez közel indítjuk rezgésnek.

Ha elképzeljük a test rezgését a midőn az erős alaphang mellett, a hányados részek külön rezgése által a fölhangok is hangzanak, úgy könnyen belátjuk, hogy a rezgés minősége más, ha a test más fölhangokat ad. A test tehát nem végez rendesen oly egyszerű rezgést, a minőt alább az egyik végén megerősített rúdnál láttunk, hanem, ha egy vagy két csomója részben előáll, úgy a rezgés minősége ettől különbözni fog. Mondhatjuk tehát, hogy a különböző testek rezgései különböznek egymástól, mely különbség a részben előálló csomópontoktól származik.

E szerint egyre megy, ha mondjuk, hogy a hang különböző jellege a fölhangoktól származik, vagy hogy a rezgés nemével változik, mert mindkettejét a részben előálló csomók idézik elő.

2. **A magánhangzók.** — Helmholtz megmutatta, hogy a magánhangzók csak sajátszerű jellegük által különböző hangok, vagyis hogy a különböző magánhangzóknál más-más fölhangok erősségük által tünnek ki.

Az emberi hang ugyanis azáltal keletkezik, hogy a tüdőből a levegő a légcsövön át hajtatik, melynek végére hártya-nemű szalagok vannak erősítve; ezeket az ugynevezett hangszalagokat a légáram rezgésbe hozza; összehúzódásuk és kitágulásuk következtében változik a hang magassága. A szájüreg a resonátor szerepét játszsza, mely alakjának változása által majd az alaphangra, majd valamely fölhangra

resonál. Az által, hogy különböző fölhangok különböző erősséggel lépnek fel, előáll a hangjellegnek azon csodálatos változása, mely az egyes magánhangzókat jellemzi.

Ha „U"-t mondunk, akkor a szájüreget lehetőleg kitágítjuk, mig nyilása keskenynyé válik, az ajkak összehúzódása által; ekkor a szájüreg lehetőleg mélyre van hangolva, és azért az alaphangot erősíti meg, míg a fölhangok háttérbe szoríttatnak. „O"-nál a száj nyilása nagyobb, miáltal az magasabb hangra resonál. „A"-nál a száj egy belülről kifelé táguló tölcsérhez hasonlít, ezen alakjánál egy octávával magasabbra van hangolva mint O-nál, s minthogy a száj nyitott, a zöngére a többi fölhangok is jelentékeny befolyást gyakorolnak.

Ezen hangzók kiejtése alkalmával a száj mindig csak egy hangra resonál, de „I", „É" és „E"-nél két hangot erősít meg egyszerre. Ezen hangzók kiejtésénél ugyanis a száj hátsó üregе kitágul, mig a nyelv a felső ínyhez emelkedik, melylyel csatornát képez. Az alsó szájüreg mélyebb, a csatorna pedig magasabb hangot erősít meg.

A magánhangzók tehát olyan hangok, melyekben egyes fölhangok erősségük által tünnek ki. De olyan két hang, melyek közül a magasabb majdnem oly erős mint a mélyebb, a 139. lapon leírt készülék lángját olynemü rezgésbe hozza, hogy a forgó tükörben már nem egyszerü csipkézetet látunk, hanem az intervallumtól függő összetett csipkézetet, mivel az által összetett hanghullámok keletkeznek. Ha tehát a magánhangzókat egy csőbe énekeljük, melyből a hanghullámokat kaucsukcső vezeti a vékony nyilású csőbe (135. ábra), úgy a megrezzentett láng képe a forgó tükörben egészen complicált csipkézeteket mutat.

135. ábra.



NEGYEDIK SZAKASZ.

A hallásról.

I. A fül.

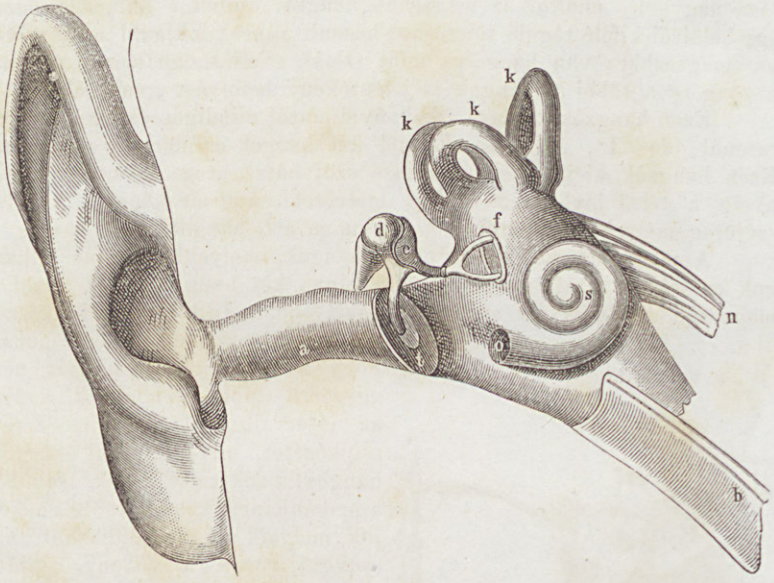
Az emberi fül három részből áll: a külső-, középső- és belső fülből; ezek üregek, melyek közül az első kettő levegővel, az utolsó pedig vízzel van megtöltve.

A külső fül a fül-kagylóból és a halljáratból áll, a középső dobürnek neveztetik, mely egy cső által a szájüreggel és

így a külléggel áll összeköttetésben; a belső fül az úgynevezett tömkeleg (Labyrinth), mely a dobürtől két nyilással ellátott csontfal által van elválasztva; e nyilásokat finom hártya födi.

A 136-ik ábra a fül szerkezetét mutatja, a hol a belső részek jóval nagyítva vannak. A fülkagylóhoz érkező levegőhullámok a hall-

136. ábra.



járatba vezettetnek, melynek végén a dobhártyába ütköznek. A dobhártya, mely a halljáratot a dobürtől elválasztja, egész kerületén csontra van erősítve. A dobür a *b* cső által van a szájüreggel összekötve.

A dobhártyával több csontocska áll kapcsolatban, melyek közül az egyik *d*, mely kalapácsnak neveztetik, nyelével a dobhártya közepéhez van nőve. A kalapács *e* üllőn nyugszik, mely ismét a kengyellel, *f*, áll kapcsolatban. A kengyel azon két nyilás egyikén nyugszik, melyek a tömkeleget elzáró csontfalba vannak vájva. A belső fülből még az *o* nyilás vezet a dobürbe; *f* a tojásalakú, míg *o* a kerek ablaknak neveztetik; mindkettő, mint említve volt, finom hártya által van elzárva.

A tömkeleg három főrészből áll, a csigából, az előcsarnokból és a félköralakú csatornákból. A tojásalakú ablak a belső fül közepébe vezet, az előcsarnokba, melyben épen az ablakkal, tehát a kengyellel is szemközt az *n* hallóideg egy ága lép be. Az előcsarnok a csiga spiralis alakú csatornájába vezet, melynek tengelyéből a hallóideg szétágazik. A dobür továbbá a kerek ablak által közvetetlen kapcsolatban áll a csigával.

137. ábra.



Az előcsarnok másik oldala a félköralakú csatornákba vezet, melyek szintén hallóidegeket tartalmaznak.

Ha a dobhártya növekedő légnyomás által a dobürbe szoríttatik, úgy a kalapács mozgása által a kengyel is a tojásalakú ablakba szoríttatik. A tömkeleg vize e nyomásnak csak az által engedhet, hogy a kerek-ablakot elzáró hártyát a dobürbe szorítja; úgy, hogy a dobhártya erősebb megfeszítésével e hártya is megfeszíttetik.

A fül egyes részei korántsem állanak oly szabadon, mint az a rajzban látszik, hol a csontboríték, mely az egészet körülveszi, egészen el van hagyva.

Már a külső halljárat is erős csonton megy keresztül; a dobür teljesen körül van véve csontfalakkal, és a tömkeleg oly szilárd csont ürébe van elhelyezve, hogy azt sziklacsontnak nevezték el. A 137-ik ábrában a fül keresztmetszete természetes nagyságban és fekvésben van lerajzolva. *a* a csiga keresztmetszete, *b* egyike a félköralakú csatornáknak, *n* a hallóideg és *t* a dobhártya, melyen a csontocskák láthatók.

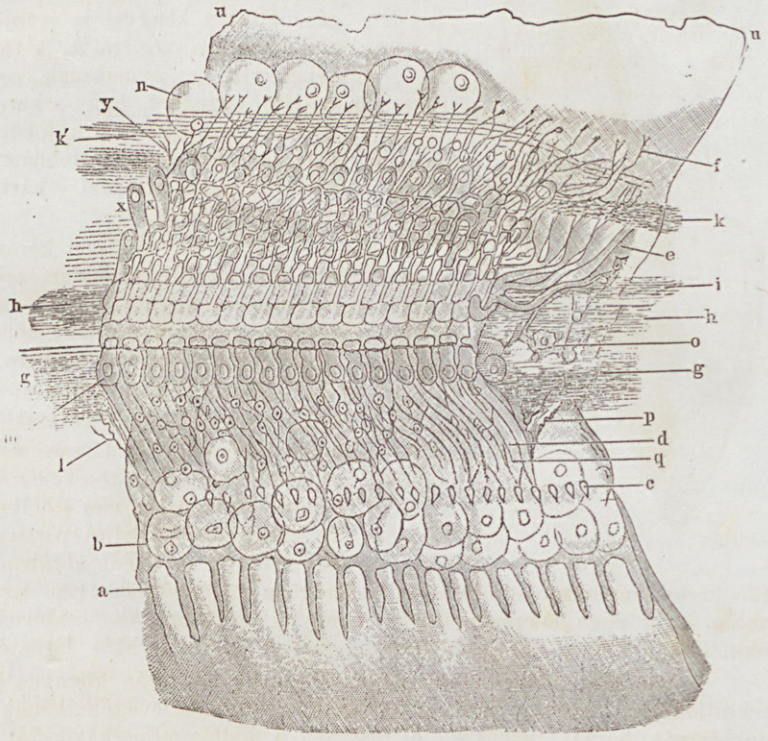
A rezgések közlése a fül egyes részeivel ezek után könnyen áttekinthető. A kagyló által a halljáratba vezetett levegőhullámok a dobhártyát hozzák rezgésbe; e rezgések a hallócsontocskákon át a tojásalakú ablakhoz, és így az előcsarnok vizéhez származtatnak át; a dobür levegője által pedig a kerek ablakon át a csiga vize hozatik rezgésbe. Mindkét folyadékban hallóidegek ágaznak szét.

Hátra van még fülünk azon nevezetes tulajdonságának megmagyarázása, mely szerint az összetett hangokat elemeire képes szétbontani. Helmholtz igen valószinű hypothesise szerint a szétbontás a csigában történik, azon sajátságos és bonyolódott képződmények által, melyekkel ott a hallóidegek végei érintkeznek. A csiga csatornája egész hoszszában, a csatorna magasságának közepe táján kifeszített két hártya által három részre osztatik: a felső, középső és alsóra. A középső részben Corti őrgróf fedezte fel az emlitett képződményeket. Ez számtalan, mikroskopi kicsinységű lemezkékből áll, melyek a zongora billentyűinek módjára szabályosan egymás mellett

feküsznek. E lemezkék egyik vége a hallóideg rostjaival áll összeköttetésben, a másik a kifeszített hártyán csüng.

A 138. ábra e rendkivül bonyolódott alakulatokat, a csiga válaszfalának egy darabjáról rajzolva, tünteti elő. A *d*-ből kiinduló

138. ábra.



és *e*-ig érő ívek e képződmény legszilárdabb részét képezik, ezek az úgynevezett Corti-féle ívek. Ezek *d*-nél emelkednek, a hol laposak és kevéssé *s*-alakulag meg vannak hajtva, fönt szélesbedve, csukló összeköttetésben vannak a lefelé hajló *e* ívekkel, melyek síma, hengeralakú szálak, megvastagadott végekkel. Ezen ívek, úgy mint a rajzban látható, az egész csigahártya hoszszában szorosan vannak egymás mellett elhelyezve; úgy, hogy összes számukat körülbelül 3000-re lehet becsülni.

Ez íveket számtalan rostocskák szövik át, melyek között *e*-nél, az ott látható lyukakon áttörő idegrostokat is találunk. A *g*, *h*, *i*, *k* harántrostok és az *o* körül fekvő sejtek ugyancsak az idegrendszerhez tartoznak.

Ujabb időben az előcsarnokban is ruganyos függelékek találtattak az idegvégeken, melyek merev hajszálacska alakjával birnak.

Igen valószinű, hogy e képződmények a fülhöz érkező hangrázkódások következtében rezgésbe jönnek. És ha még elfogadjuk, hogy a kis függelékek mindegyike a zongora húrjaihoz hasonlóan bizonyos magasságra van hangolva, úgy látjuk, hogy az illető szerkezet csak akkor rezeghet s így a hozzátartozó idegrost csak akkor érezhet, ha a neki megfelelő hang csendül meg. Hogy a szálak rövidségük dacára a mély hangokra is lehetnek hangolva, az a rajtok függő képződmények által válik lehetővé.

A hallás ezen elméletéből következik, ha egy összetett hang vagy accord a fület éri, azon szálak indíttatnak rezgésnek, melyek hangjai a hangtömegben meg vannak. S minthogy az érzés nem egy helyen történik, azért a kellő figyelem és gyakoroltság mellett az egyes hangokat elkülönítve foghatjuk fel.

II. Az összhangzás és széthangzás okai.

Helmholtz annak magyarázatát, hogy néhány accord kellemes benyomást gyakorol a fülre, míg a többi kellemetlenül hat, arra alapítja, hogy valamely hangtömeg csak úgy gyakorolhat kellemes benyomást a fülre, ha egyenletesen, mondhatnók simán folyik le, anélkül, hogy egy hang a másikat megzavarná; míg olyan hangtömeg, mely lökéseket idéz elő, kellemetlenül hat halló szervünkre. E benyomás a már fönt, a zörej jellemzésénél említett pislogó lángnak a szemre gyakorolt benyomásához hasonlít.

Fönnebb láttuk, hogy két, magasságukban egymástól kevéssé különböző hang lökéseket idéz elő, mely lökések száma a rezgési számok különbségével egyenlő.

Két, egymástól távolabb álló hang hangzása alatt olyan mélyebb hangot hallunk, melynek rezgési száma a két hang rezgési számának különbsége. Természetesnek látszik tehát, hogy e mélyebb hang nem egyéb, mint a gyorsan egymásra következő lökések. Azonban Helmholtz megmutatta, hogy egymástól távol álló hangokból lökések nem keletkeznek; mert hogy a lökések észrevehetők legyenek, arra szükséges, hogy ugyanazon idegfüggelékek, ugyanazon Corti-féle ívek mindkét hang által rezgésnek indíttassanak, a mi csak két, a scalaban egymáshoz közel álló hang által eszközöltetik.

Távol vezetne a fönnebb említett mély hang keletkezésének magyarázatába bocsátkozni, itt elég lesz azon tényt tudomásul venni, hogy lökések által nem keletkezhetik. Lökések csak egymáshoz közel álló hangok által keletkezhetnek, mely esetben azon kellemetlen benyomások okozói, melyeket a széthangzó accordoknál tapasztalunk.

E szerint egymáshoz közel álló hangok mint fél és egész hangok mindig kellemetlen benyomást gyakorolnak, míg a terc-től fölfelé a lökések már alig észrevehetők. Tudjuk azonban, hogy a septim

és non erősen dissonáló accordok. Ezt Helmholtz tisztán a fölhangok hatásainak tulajdonítja, mert a fölhangok is, ép úgy mint az alaphangok lökéseket idéznek elő. A septim az alaphang első fölhangjával fél hangot képez, a non pedig egész hangot, minek következtében erős lökések állanak elő.

A quint még teljesen összhangzó accordot képez, mert csak második fölhangja dissonál az alaphang harmadik és negyedik felhangjával, míg az első teljesen összeesik az alaphang második fölhangjával, a mint a következő összeállítás mutatja:

alaphang	2,	4,	6,	8,	10,	12
quint	3,	6,	9,		12.	

fölhangok

Ennélfogva a kis tercnél távolabb álló accordot összhangzónak mondhatunk akkor, ha az egyes hangok első felhangjai is a kis tercnél nagyobb távolságban vannak egymástól. A magasabb fölhangok gyöngeségük miatt nem gyakorolhatnak döntő befolyást.

HARMADIK RÉSZ.

Fénytan.

Ha összevetjük a természettannak már átfutott két ágát, a mechanikát a hangtannal, úgy törvényeinek kifejtésében két lényeges különbséget találunk. — A mechanikában ugyanis hosszas küzdések után megállapított alapelvek vezettek az egyes tünemény-csoportozatok megmagyarázására, mely alapelvek többnyire a kisebb részletekig már ismert tüneményekből vezettettek le. Az alapelvek megállapítása után a föladat csak az volt, hogy mindent keretükbe foglaljunk; és az által hogy ez sikerült, azok helyessége bebizonyítottnak tekintetett. A menet tehát nem volt oly biztos, kézzelfogható, mint a milyennek sokan mondani szeretik, mert a felismert alapelveknek, megállapításuk előtt, hosszas próbát kelle kiállniok. Ezt hívebben, mint magában e tudomány fejlődése történetében, sehol sem ismerhetjük fel, azért a mechanikában a történetre nagy súlyt kelle fektetnünk.

A hangtant a természettan olyan részének tekinthetjük, melynek tüneményei egy alapelv segítségével majdnem teljesen megmagyarázhatók, és e mellett azon különös előnyben is részesült, hogy ezen (a hang keletkezése és terjedésére vonatkozó) alapelv a tudomány keletkezésénél már oly biztossággal lőn felismerve, hogy kifejlődéseig tőle el nem tértek. E tudomány fejlesztése tehát csak feladatok megoldásában állott, melyek a hozzá szükséges mechanikai ismeretek felderítésével mindenkor fel is oldattak. E sajátságánál fogva ezen rész tanulmányozásánál történeti fejlődése fontos szerepet nem játszik.

Miután az első két részt megismervén, az itt mondottakat megérthetjük, lehetséges leend a következő résznek, a fénytannak, e nembeli sajátságait előre bocsátani.

A fénytanban e két fejlődési módot párosítva találjuk; ugyanis a megismert tényekből alkotott alapelvek által e tények összefüggése ki lőn mutatva, mint a mechanikában, — ezután beállott egy stationär állapot, mely alatt az elvek tisztába hozatván, két-három férfiú úttörő szellemével, úgyszólván új épületet emelt az elvekre, az által, hogy a keretükbe tartozó feladatokat megoldották; elmélet utján emelték a fénytant azon magas polcra, melyen most találjuk.

A fénytan elsőnek említett részében tehát ismét nagy súlyt kell fektetnünk fejlődése történetére, mig második részében (melyet az elsőtől el nem választhatunk) foglalt feladatok közül csak az egyszerü módon megfejthetőket fogjuk felvenni. Igy a természettan ezen ágának elemeivel elég alapossággal ismerkedhetünk meg.

ELSŐ SZAKASZ.

A fény terjedése.

ELSŐ FEJEZET.

A fény akadálytalan terjedése.

I. A fény egyenes vonalu terjedése.

Az ókor bölcsei a fény mivoltára vonatkozó a priori elméleteken kivül úgyszólván csak egyetlen egy tényt voltak képesek megállapitani, azon tényt ugyanis, hogy a fény egyenes vonalban terjed tovább. Ezt az egyenes vonalakkal határolt testek árnyékából következtették, vagyis abból, hogy a test határán és a fényforráson átfektetett síkon belül fényt nem találunk.

Ebből a testek látszólagos alakjait megmagyarázták, miáltal megállapitották a perspectiva alaptételeit.

A fény egyenes vonalu terjedését következőkép kell képzelnünk.

Minden látható test — legyen az világító vagy világított — egyes pontjaiból minden lehető irányban húzható egyenesben fény terjed a környezetbe. E képzelt egyeneseket *fénysugaraknak* nevezzük. Egy pontból kiinduló fénysugarakat szemünk (mint minden lencserendszer) egy pontba gyüjti össze, miáltal a pont látása keletkezik. A világos test tehát az által lesz láthatóvá, hogy minden pontja sugárkúpot küld szemünkbe.

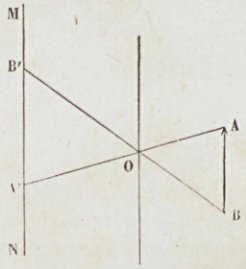
Megjegyzendő, hogy e fénysugarak tisztán csak *képzelt* vonalak, mely a fény terjedése *irányának* megjelölésére szolgálnak, mert a fény valóságos terjedését, mint alább látni fogjuk, jobban lehet egy, mindinkább nagyobbodó gömbhöz hasonlitani. Addig mig e gömb nagyobbodása minden oldalról akadálytalanul foly, a fény egyenes vonalú terjedéséről nem is szólhatunk; e tulajdonsága csak akkép nyilvánul, hogy az akadály mögött, mindaddig mig szemünk a fönt említett síkig nem emelkedik, a fényforrást nem látjuk (eltekintve az akadálynak a fényt elhajlító képességétől).

II. A camera obscura.

A fény egyenes vonalu terjedésének közvetetlen következménye az, hogy bármily alakú kis nyiláson át a nap által megvilágított terület körsik. Ez már Aristotelesnek is feltünt, de okát nem adta meg. Ennek magyarázatát a 16-dik században Maurulicus olasz tudós adta, kinek kortársa Porta (élt 1545-től 1615-ig Olaszországban) e magyarázaton alapuló igen nevezetes készüléket a camera obscurát fedezte fel. Porta így nevezte el az egyszerüen elsötétitett szobát, melybe kis nyiláson át hatolhatott a fény. A nyilással szemben felállított ernyőn a külső tájék megfordított képe teljes szinezetében mutatkozik.

E meglepő tünemény a fény egyenes vonalú terjedéséből következik. Legyen ugyanis AB (139. ábra) egy kivül lévő tárgy, O a kis nyilás és MN az ernyő. Az A pont a tér minden irányában lövel sugarakat, melyek közül egy szük nyaláb az O ponton át a szobába ér és az ernyőt A' pontban találja. Az ernyő más pontja nem kap A-tól sugarakat, miáltal A' a szemre oly benyomást gyakorol, mint A, vagyis A' A-nak képe. Ugyan így áll elő B'-ben B-nek képe. Az A és B közt lévő pontok képei A' és B' közé esnek, tehát A'B' AB-nek képe. Látni való, hogy ha a nyilás nagyobb, úgy a tárgy minden pontjából tágasabb sugárkúp hatol a szobába, úgy hogy az ernyőn egy pont helyett egy körsik fog előállani, mely síkok egymást födik, miáltal a kép tisztátalan lesz. Igy keletkezik bármily alakú kis nyilás által a nap köralakú képe.

139. ábra.



Az előbbi kisérletet igen egyszerü módon ismételhetjük. Ha valamely kártyalapba tűvel igen kis nyilást fúrunk, és azt ernyő és égő gyertya közé tartjuk, úgy az ernyőn előáll a gyertya megfordított képe.

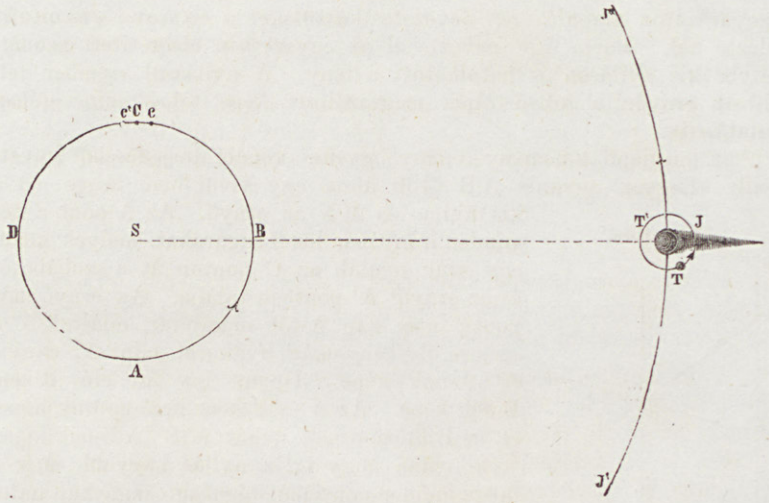
III. A fény sebessége.

1. Hogy a hang tovább-terjedésére idő szükséges, arról könnyen lehet meggyőződni, mert terjedő sebessége földi méreteinkhez képest nem fölötte nagy; azonban a fény továbbterjedésére szükséges időt ily egyszerűen megfigyelni nem lehet. Azért a többi között Descartes is kétségbe vonta, hogy a fény továbbterjedése időt vesz igénybe.

De a kisérletező természettudósok azon meggyőződésüket hirdették, hogy a fény továbbterjedésére idő szükséges. Galilei és utána mások 1—2 mértföldnyi távolságok közt tettek is kisérleteket, de eredmény nélkül. Ők nem gyanitották, hogy távol világokból jövő hirnökünk ilyen távolságokhoz mérten gyorsítja röptét. A fény sebességének első meghatározása csakugyan astronomiai megfigyelések által sikerült :

A Jupitert, a nap egyik bolygóját, 4 hold veszi körül, melyek ép úgy keringenek körülötte, mint földünk körül a hold; e holdak minden körülkeringés alatt egyszer elsötétíttetnek, mialatt a Jupiter árnyékába merülnek. A földről pontosan lehet észlelni e holdaknak az árnyékba való be- vagy kilépését. Ábrázolja ABCD (140. ábra),

140. ábra.



a körtől igen kevéssé különböző földpályát és S a napot, továbbá J'J'' a Jupiter-pálya egy részét, melynek J pontjában a bolygó jelenleg van; úgy a földpálya DAB részén a holdak belépését, BCD részén pedig azoknak az árnyékból való kilépését lehet észlelni. Azon időből, mely két belépés vagy két kilépés közt eltelik, meg lehet határozni egy holdnak körülforgó idejét. Ha kellőleg tekintetbe vesszük a Jupiter mozgását, mely által az árnyék helyzete változik, ugy ugyanazon hold körülforgó idejének mindig ugyanannak kell lennie.

Römer Dán tudós és Cassini Párisban 1670-től 1676-ig tett észleletei azonban a legnagyobb gonddal tett számításoktól eltérő eredményekre vezettek. Römer figyelmeztetett arra, hogy e feltünő eltérések szoros kapcsolatban vannak a föld állásával. Ha a föld B-nél vagy D-nél van, úgy pályája majdnem merőleges a földet és a Jupitert összekötő egyenesre, miáltal egymástól való távolságuk kevéssé változik. De ha a föld A-nál van, midőn az első belépést észleljük, úgy azon idő alatt, mely a holdnak második belépéseig eltelik, a föld jóval közeledett Jupiterhez, mert ekkor pályája a Jupiter felé van irányitva. Ha azonban a föld az első kilépés észlelésénél C-nél van, a honnan a Jupitertől majdnem egyenes irányban eltávolodik, úgy a második kilépésnél a föld sokkal távolabb van, mint az elsőnél.

Minthogy a hold körülforgó idejében talált eltérések e távolságok változásával szoros kapcsolatban vannak, Römer az eltéréseket abból magyarázta, hogy a hold fényének hosszabb időre van szüksége, míg a nagyobb távolságban lévő földig jut. Ezen eltérésekből a fény sebessége következőkép adódik ki.

Ha a hold első kilépését az árnyékból akkor észleljük, a midőn a föld B-nél van, és a holdnak valódi körülforgó idejéből kiszámítjuk a kilépés idejét akkor, midőn a föld Q-nál van, úgy a kiszámított érték és az észlelt idő közötti különbség: azon idő, mely alatt a fény a földpálya átmérőjét befutja.

A tett észleletek azt mutatták, hogy a hold 16 perc és 26·38 másodperccel jelent még később, vagyis, hogy a fény 986·38 másodperc alatt futja át a földpálya átmérőjét, 30,000.000 miriamétert. Ebből a fény sebessége

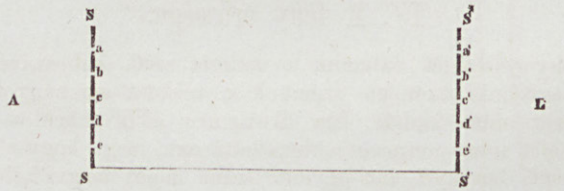
$$c = \frac{30.000{,}000}{986} = 30{,}800 \text{ miriaméter.}$$

Miután a Jupiter-holdakon tett későbbi észleletek eltérései is pontosan meg voltak magyarázhatók a fény azon sebessége által, azért Römer elmélete általánosan el lőn fogadva.

2. Fizeau módszere. — A fény sebességét a földön és ezzel egyszersmind a földi fény sebességét először Fizeau francia physikus 1849-ben határozta meg.

Fizeau módszerének alapelve a következő. Legyen S és S' (141. ábra) két párhuzamos ernyő, melyeken az a, b, c ... nyilások

141. ábra.



akkép vannak alkalmazva, hogy egy A-nál lévő szem a második ernyő mögött lévő fényt L-t az aa', bb' .... megfelelő nyilásokon át láthatja. Ha a szilárdan összekapcsolt ernyőket föl-le mozgathatjuk, mialatt a szem és a fény állandó állást foglalnak el, úgy az A-nál lévő észlelő, a mozgás kis sebessége mellett, az L fényt fölváltva majd látja, majd nem látja. Ha az ernyőket gyorsabban mozgatjuk, úgy a fény folytonosan látható lesz, mert a mint már többször tapasztaltuk, a hang ép úgy mint a fény benyomásai nem tünnek el rögtön a hatással; az egyik nyilásból jött fény hatása még meg van a szemben, míg az a második nyilásból jövő fény által megújíttatik.

Hogy itt egyáltalában a fény látszik, az nagy sebességének következménye. A fény ugyanis azon pillanatban halad a'-n át, a

midőn a a szem előtt van, és oly sebességgel futja át az aa' tért, hogy a fény hamarabb ér a-hoz, mint ez a szem előtt elhalad.

De ha a két ernyőt oly sebesen mozgatjuk, hogy azon idő alatt, mig a fény a'-től a-ig ér, az a nyilás helyébe az ab lap jutott, akkor a fény a második ernyőn már nem mehet keresztül, és az észlelő A-nál az ernyők e sebessége mellett az L fényből mit sem lát; mert az S' ernyő mindegyik nyilásából jövő fény az S ernyő nyilásközét éri.

Ha az ernyőket még sebesebben mozgatjuk, ugy hogy azon idő alatt, míg a fény a'-től a-ig ér, a nyilás helyébe épen b lépett, úgy a fény szintén látható lesz.

Ha az ernyők sebességét fokozatosan növesztve képzeljük, úgy az L fényt A-nál eleinte fölváltva látjuk, azután folytonosan, mig egyszerre egészen eltünik, és azután ismét teljes fényben mutatkozik.

Az első elsötétülésből, vagy a fény isméti megjelenéséből ki lehet számítani a fény sebességét, ha ismerjük a két ernyő és a nyilások egymástól való távolságát, valamint az ernyők sebességét, mert ebből kiszámítjuk, hogy meddig tart, mig a b nyilás a helyébe lép, és tudjuk, hogy ezen idő alatt a fény az aa' utat írta le.

Fizeau készülékét, melyet e kisérletek végrehajtására használt, a távcsövek szerkezetének ismerete nélkül megérthető nem lévén, e helyen meg nem ismertethetjük. Eredményei feltünően összevágnak Römer eredményével. Fizeau ugyanis a fény sebességét 31,500 miriaméternek találta.

Foucault más módszer segitségével a fény sebességét valamivel kisebbnek találta, mint Fizeau.

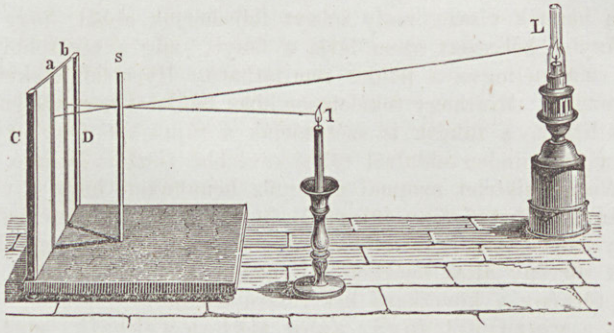
IV. A fény erőssége.

A fény erősségét valamint a hangét csak subjective vagyunk képesek megitélni, azonban szemünk e tekintetben nagyobb pontosságra képesít, mint fülünk. Igy Bougner 1758 körül a visszavert fény erősségét igen pontosan akkép határozta meg, hogy a két különböző erősségű fénynyel két egyenlő szinű lapot megvilágított, és az erősebb fényforrást addig távolította el a laptól, mig az egymás mellé helyezett lapok egyenlő világosaknak látszottak.

Ennél alkalmasabb Rumford módszere, a melynél egy testnek a két különböző fényforrás által képezett két árnyék hasonlíttatik össze. A készülék igen egyszerű:

A CD fehér ernyő (142. ábra) előtt áll az s átlátszatlan s körülbelül irónvastagságú pálca. Ha a pálca előtt l-nél egy gyertya ég, és L egy másik láng, úgy a pálca két árnyékot vet az ernyőre, a és b-t. Az ernyő azon része, melyen árnyék nincs, mindkét láng által világíttatik meg; de a b árnyék csak az L láng által, mig az a árnyék l által van megvilágítva. Ha a két fényforrás egyenlő erősségü és egyenlő távolságban is van, úgy az árnyékok egyenlő sötétek lesznek. De ha L erősebb fényt áraszt, akkor egyenlő távolság mellett

142. ábra.



a sötétebb lesz, mint *b*; és hogy a két árnyék egyenlő sötétté váljék, L-t el kell távolítani.

E készülék segítségével meghatározhatjuk, hogy a fény a távolsággal mily arányban gyöngül. Ha ugyanis az L lámpa helyett *l*-lel egyenlő gyertyákat használunk, úgy azt találjuk, hogy négy gyertyát épen kétszer oly távol kell helyezni az ernyőtől, mint az egy gyertyát, hogy az árnyékok egyenlő sötétek legyenek. 9 gyertyát 3-szor oly távol kell helyezni s í. t., tehát a fényerősség a távolság négyzetével fogy.

Pontosabban lehet a fényt összehasonlítani papiroson képezett zsírfolt azon tulajdonságából, hogy több fényt bocsát keresztül, mint a tiszta papiros és azon mértékben kevesebbet is ver vissza. A zsírfolt ennélfogva világosabb, mint a többi papiros, ha mögötte a világítás erősebb — és sötétebb, ha a világítás elől erősebb. Ha a két oldalról a világítás egyenlő, úgy a zsírfolt nem látszik, mert sem sötétebb sem világosabb nem lehet a papiros többi részénél.

Bunsen ezen elvre alapított igen alkalmas készüléket szerkesztett, különösen a gázvilágítás megmérésére.

MÁSODIK FEJEZET.

A fény visszaverődése és törése.

I. A fény visszaverődése.

1. **A visszavert fény iránya.** — Ha világító testből kiáramló fény sötét átlátszatlan testre esik, úgy erről a fény visszaveretik. Ha e test felülete nem sima, úgy a fény szabálytalanul, minden lehető irányban verődik vissza, úgy hogy ilyen felület minden pontját fényforrásnak tekinthetünk. A felület minden oldalról látható.

De ha a fényt felfogó felület síma, úgy a fény csak bizonyos irányban veretik vissza, mely irányt felismerjük abból, hogy csak az ezen irányba helyezett szem látja a fényt, mig a tér többi részéről a fény, és ennélfogva a felület sem látható. Ilyen felületeket tükröknek nevezünk. Minthogy tökéletesen síma felületet nem vagyunk képesek előállítani, a tükrök is szétszórják a rájuk eső fény egy részét, miáltal a tér minden oldalról többé-kevésbbé tisztán látható.

Néhány kisérlet azonnal meggyőz bennünket, hogy a visszavert fény iránya a beeső fény irányától függ. S mivel ezen összefüggés a felület minőségétől és általában minden körülménytől független, igen egyszerű törvény által fejezhető ki, melyet már az ókorban is ismertek. E törvény a következő két részre oszlik:

1) a viszavert sugár azon síkban fekszik, mely a beeső sugár és a beeső merőleges által van meghatározva; és

2) a beeső sugár és a visszavert sugár a beeső merőlegessel egyenlő szögeket képeznek.

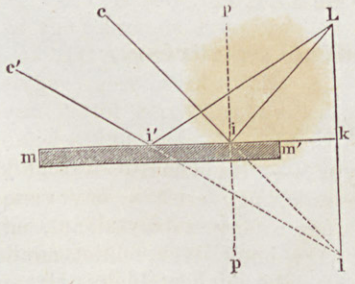
2. **A visszavert fény erőssége.** — A visszavert fény iránya ily egyszerű törvény által meg lévén határozva, további kutatásokra alkalmat nem adott. Azonban a visszavert fény erősségét vizsgálván, igen feltünő, mert nehezen áttekinthető tüneményekre akadunk. Bougner a fönnebb említett módon a következő eredményekre jutott:

Minden test a beeső fénynek csak egy részét veri vissza; mely rész függ a beeső sugarak irányától, és a felület minőségétől. Minden test bizonyos nagyságú beeső szögnél veri vissza a fény legnagyobb részét, úgy hogy kevesebbet ver vissza, ha e szög nagyobb és ha kisebb. E szög nagysága a különböző testeknél különböző.

Alább alkalmunk lesz e nevezetes tüneményeket tüzetesen megvizsgálni.

3. **A síktükör képei.** — A visszaverődés törvényeiből közvetetlenül következik, hogy a fényforrás minden pontja a síktükör visszavert fényében homályosabban, de tisztán látható. Legyen például mm' (143. ábra) egy síktükör és L egy világító pont, mely minden irányban bocsátja sugarait a tükörre. Az Li sugár az idézett törvény szerint ic irányban veretik vissza, és az Li' sugár $i'c'$ irányban, ic és $i'c'$-t meghosszabbítva, l-ben találkoznak. Egyszerü szerkesztés által könnyen meggyőződhetünk arról, hogy mind az L-ből kiinduló sugarak oly irányban veretnek vissza, hogy meghosszabbítva l ponton mennek keresztül. A $cc'm$ tér tehát oly sugarakkal van áthatva, melyek l pontból látszanak kiindulni, azért az e térben lévő szem l-ben lát egy világító pontot. Ezt a pontot L világító pont képének nevezzük.

143. ábra.

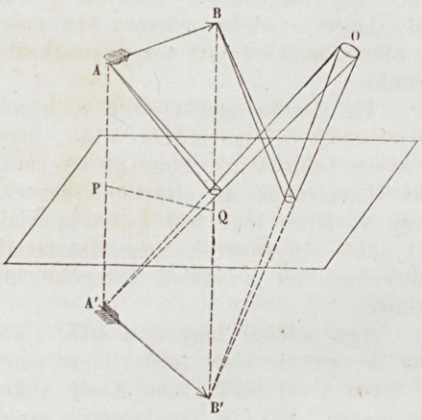


Az l pont helyének meghatározására tekintsük az $ii'\mathrm{L}$ és az $ii'l$ háromszögeket, melyekben két-két szög egyenlő és az ii' oldal közös lévén, a két háromszög összeillő, a miből következik, hogy $il = i\mathrm{L}$; és ebből ismét következik az, hogy $ik\mathrm{L} \cong ikl$; tehát $l\mathrm{L}$ vonal merőleges mm'-re, és $k\mathrm{L} = kl$.

Valamely világító pont képe tehát a síktükörben a világító pontból a tükörre bocsátott merőlegesben ép oly távol fekszik a tükör mögött, mint a világító pont a tükör előtt.

Minthogy valamely megvilágított test minden pontja a világító pont szerepét játszsza, azért e módon tetszésszerinti test képét is megszerkeszthetjük.

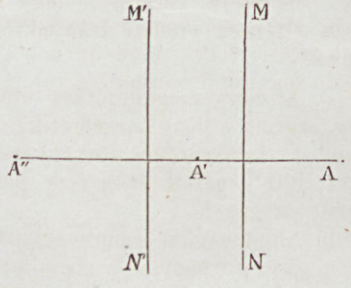
144. ábra.



Legyen a 144. ábrában AB egy, a tükör előtt lévő nyíl. A pont képét az előbbiek szerint megtaláljuk, ha a tükörre vont merőlegesre $\mathrm{AP} = \mathrm{PA}'$ hosszúságot rakjuk. Az A-ból jövő sugarak a visszaverődés után A'-ből látszanak jönni. Ugyanígy nyerjük B pont képét, melyet az O-nál lévő szem A'B'-ben lát. A rajz megtekintéséből látjuk, hogy a tárgy és a kép egyenlő nagyságú és hogy a tükör felületéhez részarányosan fekszenek.

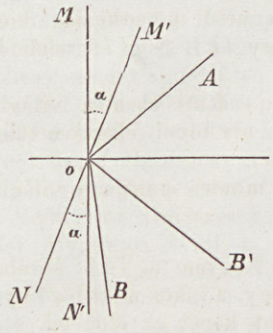
4. A képnek a tükör által előidézett mozgása. — Ha valamely tükör MN önnönmagával párhuzamosan mozdíttatik el, például a távolsággal M'N'-ig (145. ábra), úgy az A pont képe A', mely A-tól $2d$ távolságban volt, A''-be, A-tól $2(d+a)$ távolságra tétetik át. A távolság-különbség A'A'', vagyis a kép eltolása $2a$, tehát kétszer akkora, mint a tükör eltolása.

145. ábra.



Ha a tükröt forgatjuk, úgy a kép és a tükör eltolása közt ugyancsak az előbbi összefüggés áll fen. Ha MN' (146. ábra) a tükör, AO és OB' a beeső és visszavert sugarak, úgy az utóbbiak által képezett szög AOB' kétszer akkora, mint a beeső szög, vagyis $2i$. Ha a tükör α szöggel forog, úgy hogy M'N helyzetbe jön, úgy a beeső szög szintén α-val növekedik, vagyis $i + \alpha$ lesz, ekkor a beeső és visszavert sugár által képezett szög $2(i + \alpha) = 2i + 2\alpha$; a visszavert sugár tehát 2α-val forgott tovább.

146. ábra.

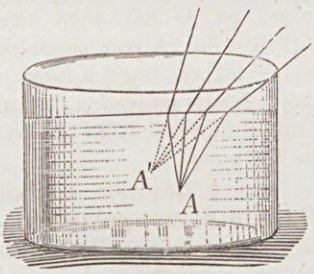


A síktükrökön kivül még gömbtükrök alkalmaztatnak, melyeket azonban a következő fejezetben fogunk megvizsgálni.

II. A fény törése.

1. A tény megállapítása. — Ha a fény átlátszó testbe hatol, útjától eltéríttetik. E tényt már az ókorban is ismerték, mely ismeretre őket a mindenütt elterjedt és folytonosan használt átlátszó közeg — a víz — természetes módon vezette. Igy megemlítve találjuk e kor iróinál, hogy a vízbe mártott bot megtörve látszik lenni, és valamely edény fenekére tett tárgy emelkedni látszik, ha az edénybe vizet öntünk.

147. ábra.



Ha tisztán megértettük a képek keletkezését visszaverődés által, úgy könnyen beláthatjuk, hogy az itt említett tünemények az által keletkeznek, hogy a vízben lévő test egyes pontjaiból jövő fénysugarak megváltoztatják irányukat, ha a vízből levegőbe kerülnek.

Igy például legyen a 147. ábrában A egy víz alatt lévő világos pont. A vízen kivül lévő szem A-nál akkor lát pontot, ha oly fénysugarak esnek rá, melyek A-ban találkoznak. De a tapasztalat azt mutatja, hogy az A-nál lévő pontból mit sem látunk, hanem A'nél látunk világos pontot. A miért fel kell vennünk, hogy az A-ból kiinduló sugarak akkép változtatják meg irányukat, hogy meghosszabbításaikban A'-ben találkoznának. — Az által, hogy valamely vízbe mártott botnak minden pontja emelve van, a bot megtörtnek látszik.

A látszat e csalódása azon tény ismeretére vezetett, hogy a fénysugarak különböző közegek határain eltérnek eredeti irányuktól, azaz, hogy a fénysugarak megtöretnek.

2. A törvény felfedezése. — A tény megállapítása után azon törvényt kellett megkeresni, mely szerint a fény megtöretik, ez azonban nem oly könnyen sikerült, mint a visszaverődés törvényének megállapítása; mert a megtört sugár által képezett szög sem nem egyenlő, sem nem arányos a beeső sugár szögével.

Az első, ki a fény törését kellő alapossággal tanulmányozta Keppler volt. Számos kisérletet tett a törés törvényének megállapítására, de az előbbi két ponton kivül csak azon eredményhez jutott,

hogy a sugár mindig a két közeg határfelületére vont merőlegestől eltéríttetik, ha sürűbb anyagból (optikailag sűrűbből) ritkábba megy, és pedig annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a beeső sugár és e merőleges által képezett szög. A megtört sugár e szög nagyobbodtával mindaddig eltér a merőlegestől, míg a határfelülettel összeesik; ha a beeső szög ezentúl is növekszik, úgy a fény át sem hatja a közeget, hanem a határfelületen, mint valamely tükörről visszaveretik. Miután később meg lőn állapítva, hogy minden szög alatt beeső fény egy része visszaveretik, e tüneményt tökéletes visszaverődésnek, total-reflexiónak nevezték el.

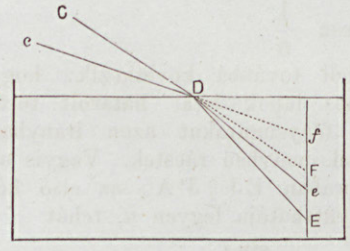
Keppler ezen tanulmányai által, habár a törés törvényét felfedezni neki nem sikerült, utat tört a további kutatásra.

Azon meggyőződéssel, hogy a természet a fény törésénél is bizonyos egyszerű törvényt követ, Scheiner és Kircher 1640 körül e törvény megkeresésére még sokkal több kisérleteket tettek, mint Keppler. Scheiner fokról fokra megmérte a beeső és a megfelelő törőszögeket, Kircher még ezt is keveselvén, e szögeket percről percre mérte meg, és az eredményeket könnyen áttekinthető táblázatba foglalta; de oly törvényt nem sikerült felderíteniök, melynek segítségével a szögek egyikét ki lehetett volna számítani, ha a másik meg volt adva.

E fontos törvény felfedezése Snellius-nak volt föntartva. Snellius fölfedezése, mint Huyghens dioptrikájából ismerjük, a következő:

Ha a 148. ábrában AB a két közeget (például levegőt és vizet) elválasztó sík, és CD egy beeső sugár, úgy ez oly DE irányba töretik, hogy az AB-re merőleges vonal által elmetszett DE és DF hosszak ugyanazon közegeknél állandó arányt képeznek. Tehát ha cD egy második beeső sugár, melynek meghosszabbítása f-ben találja a merőlegest, de a sűrűbb közeg által e felé töretik, úgy $\frac{DE}{DF} = \frac{de}{df}$. Ha a sugár például levegőből vízbe hatol, úgy ezen arány egyenlő $\frac{4}{3}$-al, és ha levegőből üvegbe megy, $\frac{3}{2}$-et tesz.

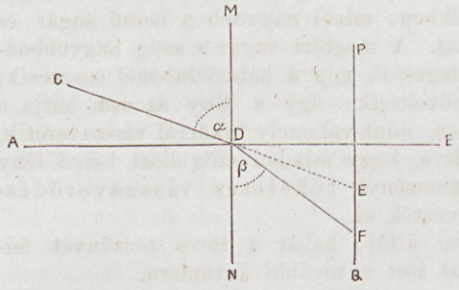
148. ábra.



Descartes állítólagosan Snellius-tól függetlenül 1637-ben megjelent dioptrikájában e törvényt a következő, sokkal célszerűbb alakban adta. Descartes ugyanis megmutatta, hogy a beeső szög sinusa arányos a törő szög sinusával. Beeső és törő szögeknek nevezvén az illető sugaraknak a határfelületre emelt merőlegessel képezett szögeket.

Ez a Snellius-féle törvénynek csak más alakja, mert ha a 149. ábrában AB a határsík, CD a beeső, DF a megtört sugár, MN a beeső merőleges, PQ szintén AB-re merőleges vonal: úgy a DEF háromszögben

149 ábra.



$DE : DF = \sin DFE : \sin DEF$

vagy

$DE : DF = \sin\beta : \sin DEP$

tehát $DE : DF = \sin\beta : \sin\alpha$

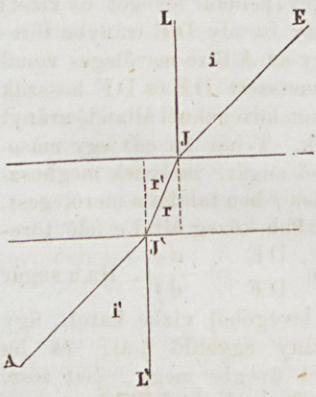
azaz, ha DE és DF aránya állandó, akkor $\sin\alpha : \sin\beta$ is állandó.

A törés törvénye tehát akkép fejezhető ki, hogy a beeső- és a törő-szögek sinusainak aránya csak a két közegtől függ.

3. **A törő-együttható.** — Ezen nevezetes arány, mely két átlátszó közeget optikailag jellemez, a két közeg törő-együtthatójának neveztetik. Ha a sugár légüres térből megy az átlátszó közegbe, úgy a sinusok aránya ezen átlátszó anyag absolut törő-együtthatója. Ha pedig a sugár egyik közegből a másikba megy, úgy ezen arány a két közeg viszonylagos törő-együtthatója.

Ha a 150. ábrában EJ fénysugár levegőből üvegbe megy, és ebben JJ' irányt követi, úgy az üvegben haladó J'J sugár JE irányba töretik meg, ha a levegőbe lép. Vagyis a beeső és a megtört sugarak mindig megfelelő sugarak.

150. ábra.



Ebből következik, hogy ha a levegőből üvegbe menő sugárra az együttható például n, úgy üvegből levegőbe menőre lesz $\frac{1}{n}$.

Ebből továbbá következik, hogy párhuzamos lapok által határolt törőközeg a fénysugarakat azon irányban bocsátja el, melyben ráestek. Vagyis az utolsó ábrában $EJ \parallel J'A$: az első két közeg együtthatója legyen n, tehát

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

úgy a második törés együtthatója $\frac{1}{n}$, tehát

$$\frac{\sin r'}{\sin i'} = \frac{1}{n} \quad \text{vagy} \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin r'}{\sin i'}$$

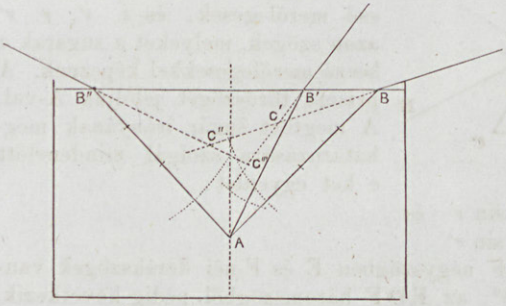
s minthogy a beeső serőlegesek párhuzamosak, azért $r = r'$, és így

$\sin i = \sin i'$ azaz $i = i'$

4. **A törés által származott kép helye.** — A fénytünemények megérthetésére felvettük, hogy valamely világító pont minden

irányban lövel szét fénysugarakat; és ha e fénysugarak a szembe esnek, ez ott lát pontot a hol e sugarak találkoznak. Ha oly sugarak esnek a szembe, melyek nem convergálnak egy pont felé, akkor a szem világító pontot nem lát. A síktükörről visszavert oly sugarak, melyek egy pontból indulnak ki, egy pont felé convergálnak, azért a síktükör képei tökéletesen tiszták és élesek. Ha azonban sík által határolt közegből jönnek a fénysugarak, úgy ezek a törés után nem találkoznak egy pontban, ha egy pontból is indulnak ki. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha valamely A világító pontot (151. ábra) víz alatt képzelünk, és a tőle kiinduló fénysugarak útjait a levegőben a Snellius-féle törvény szerint pontosan megszerkesztjük. Ugyanis az A ponton át a vízszínre merőlegest emelünk, és az AB $^3/_4$-ed részével a B-be illesztett körzővel kört húzunk, a hol ez a merőlegest átmetszi, ott találja a megtört sugár is a merőlegest, mert ekkor BC : AB = 3 : 4 és ez lesz egyszersmind a sinusok aránya. Ha ezt több tetszőlegesen felvett AB′, AB″, ... sugárra megteszszük, úgy látjuk, hogy ezek a törés után különböző C′, C″, C‴ ... pontokban találkoznak.

151. ábra.



Hogy ennek dacára a tárgyakat a víz alatt mégis elég tisztán látjuk, akkép magyarázható, hogy a szembe egyszerre jövő kis sugárkúp sugarai igen közel egy pontban találkoznak. A szem minden állásánál azonban más sugárkúp kerül bele, melynek csúcsa máshol van, azért a tárgyakat más-más helyen látjuk, a szerint mint szemünket mozgatjuk.

5. **A fény törése prisma által.** — A törés tanulmányozására ujabb időben a prismát használják; ez oly átlátszó test, mely két, egymáshoz hajló sík által van határolva.

Azon vonal, melyben a két sík egymást metszi a prisma éle, az él átellenében rendesen egy harmadik sík is fekszik, mely a prisma alapjának neveztetik. Az a szög, melyet a két sík egymással képez, a törő-szög. Főmetszetnek nevezzük azon síkot, melyben egy, az élre merőleges sík a prismát metszi.

152. ábra.



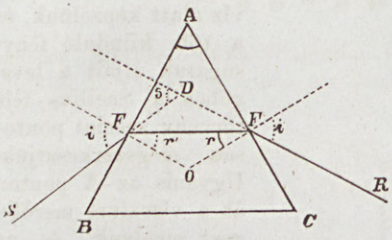
Rendesen olyan prismák alkalmaztatnak, melyek három derékszögü négyszög által vannak határolva; ezek alakját a 152. ábra mutatja.

Ilyen prisma főmetszete háromszög, és e háromszögek szerint a prismát derékszögü-, egyenszárú- vagy egyenoldalunak nevezzük.

Ha például üvegből készült prismán keresztül nézünk, úgy kettős tüneményt észlelünk, először a tárgyak helyeiből tetemesen eltolva látszanak, és másodszor színes szegélyzettel vannak ellátva.

Mielőtt e színeket vizsgálnók, az eltolás törvényét fogjuk megállapítani.

153. ábra.



Legyen A B C (153. ábra) a prisma főmetszete, S E egy beeső sugár, melynek útja a prismában E F és mely a prismát F R irányban hagyja el. E O és F O a beeső merőlegesek, és i, i', r, r' azon szögek, melyeket a sugarak a beeső merőlegesekkel képeznek. A prisma törőszögét jelöljük A-val. A megtört sugár irányának meghatározására szolgál mindenelőtt e két egyenlet:

1) . . . $\sin i = n \,.\, \sin r$ és

2) . . . $\sin i' = n \,.\, \sin r'$

Minthogy az A E O F négyszögben E és F-nél derékszögek vannak, azért $O + A = 180^0$; az E O F háromszögből pedig következik, hogy $O + r + r' = 180^0$, tehát

3) . . . $r + r' = A$.

A beeső és a megtört sugár D-nél a δ szöget képezik, mely szög a sugár eltérítését méri és azért az eltérítés szögének neveztetik.

D E F háromszögből

$\delta = DEF + DFE = i - r + i' - r'$, tehát

4) . . . $i + i' = A + \delta$

E hét mennyiség között i, i', r, r', n, A és δ négy egyenletünk van; tehát ha e mennyiségek közül három adva van, négyet ki lehet számítani.

MÁSODIK SZAKASZ.

Gömbtükrök és lencsék.

A gömbtükrök és gömbfelületek által határolt lencsék már alkalmazásban voltak, még mielőtt a törés törvénye felfedeztetett. Épen a szemüvegek és a távcsövek felfedezése indította a természettudósokat a fénytörés tanulmányozására, és különösen a törés törvényének megkeresésére, mert ha ez ismeretes, úgy a fénysugár útjának meghatározása a különböző esetekben csak egy-egy határozott alakban adott feladat megoldásából áll.

A gömbtükrök és lencsék hatását a legujabb időben Gauss hires mathematikus, a régibb megoldásnál sokkal szebben és általánosabban oldotta meg, azért az ő módszerét lehetőleg elemi úton ismertetjük meg a következőkben.

ELSŐ FEJEZET.

Gömbtükrök.

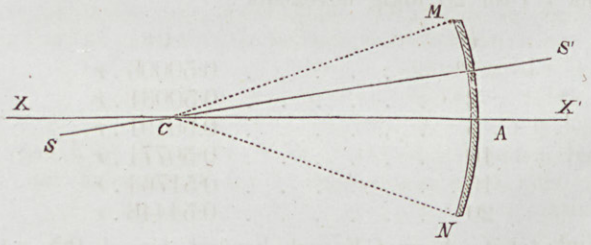
1. Valamely fénysugár görbe felületről akkép veretik vissza, mint ha az illető ponthoz tartozó érintő sík volna a visszaverő felület. A beeső és a visszavert sugarak tehát a felület deréklőjével képeznek egyenlő szögeket.

A gyakorlatban majdnem kizárólag gömbtükrök fordulnak elő, vagyis olyanok, melyek felületei gömbfelületek részei.

A gömbtükrök két nemét különböztetjük meg, a homorú és domború tükröket; homorúak azok, melyek tükröző felületei belül vannak, vagyis a középpont felé tartó részükön; a domboruak tükröző felületei pedig a külső részen vannak.

Ha MN (154. ábra) egy gömbtükör, úgy A a tükröző felület középpontja, a tükör sarkának neveztetik. C azon gömb közép-

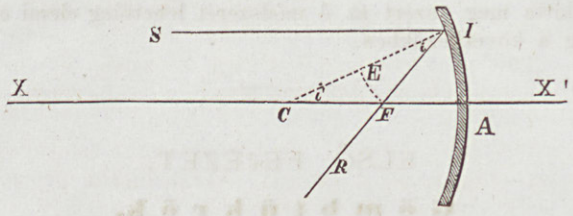
154. ábra.



pontja, melyhez a tükörfelület tartozik, az XX' egyenes, mely C és A-n keresztül megy, a tükör főtengelye. Mindazon egyenesek, melyek a C középponton keresztül mennek, a tükör felületére merőlegesek és melléktengelyeknek neveztetnek. Az MCN szög, mely oly két melléktengely által képeztetik, melyek a tükör szélső pontjain keresztül mennek és az XX' főtengelylyel egy síkban fekszenek, a tükör táglatának mértéke.

2. **A főgyüjtőpont.** — Legyen SI (155. ábra) egy a főtengelylyel párhuzamos fénysugár. E sugár a homorú tükör felületének oly IR irányban veretik vissza, hogy SI és IR az I ponthoz tartozó CI gömbsugárral egyenlő szögeket képeznek. A visszavert sugár a főtengelyt A és C közt F pontban metszi. Az F pont helyének

155. ábra.



meghatározására jelöljük az egyenlő szögeket i-vel, és húzzuk az FE vonalat merőlegesen CI-re; úgy az ábrából látható, hogy

$$CE = CF \cos i$$

s minthogy $CE = EJ$-vel, $2CE = r$ a gömb sugarával, tehát

$$r = 2CF \cos i \qquad \text{miből}$$

$$CF = \frac{r}{2 \cos i}$$

Tehát F pont helyzete csak i szögtől függ. Minél kisebb az i szög, annál inkább közeledik CF értéke a sugár feléhez; a gyakorlatban mindig csak igen kis táglatú tükrök fordulnak elő, melyeknél i-t csakugyan semminek lehet venni, ezeknél tehát F épen a sugár felébe esik. A következő táblázat mutatja, hogy mennyire tér el CF értéke $\frac{r}{2}$-től, ha i 1-től 20 fokig növekedik:

i	CF
1^0	$0{\cdot}50006 \, . \, r$
2	$0{\cdot}50031 \, . \, r$
5	$0.50191 \, . \, r$
10	$0{\cdot}50771 \, . \, r$
15	$0{\cdot}51764 \, . \, r$
20	$0{\cdot}54448 \, . \, r$

Látjuk tehát, hogy CF csak kevéssé tér el $0{\cdot}5 \, . \, r$-től, ha i 5 foknál nem nagyobb.

Vizsgálatainkat csak ily kis táglatú tükrökre fogjuk kiterjeszteni, minthogy a gyakorlatban csak ilyenek vannak alkalmazásban.

Ilyen tükröknél valamennyi a főtengelylyel párhuzamos sugár F pontban fog találkozni, e pont a tükör *főgyüjtőpontjának*, az AF távolság pedig a *főgyüjtő-távolságnak* neveztetik, ezt a következőkben mindig F-fel fogjuk jelölni. A gyüjtőtávolság és a gömb mértani sugara között tehát ez egyszerű összefüggés van:

$$F = \frac{r}{2}$$

Azon sugarakat, melyek közös találkozási ponttal birnak, *homocentrikus* sugaraknak fogjuk nevezni. Ha a beeső sugarakról

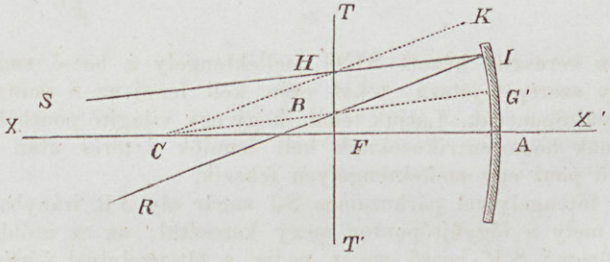
van szó, úgy a homocentrikus sugarak találkozási pontja a világító pont; ez valós, ha a sugarak tényleg találkoznak, és képzetes, ha csak meghosszabbításaikban találkoznak. Ha a visszavert sugarak homocentrikusak, úgy találkozási pontjukat általában gyüjtőpontnak nevezzük. A gyüjtőpont szintén valós vagy képzetes, a szerint, mint a visszavert sugarak tényleg találkoznak vagy csak meghosszabbításaikban.

A homorú tükörre a főtengelylyel párhuzamosan eső sugarak tehát a visszaverődés után homocentrikusak, és találkozó pontjuk a főgyüjtő-pont, mely ezen esetben valós.

Minthogy a beeső szögek mindig egyenlők a visszaverődő szögekkel, világos, hogy ha F-ben képzelünk egy világító pontot, az ebből kiinduló sugarak a főtengelylyel párhuzamosan veretnek vissza.

3. **A gyüjtő-sík.** — Azon síkot (T T') (156. ábra), mely a főgyüjtő-ponton keresztül megy és a főtengelyre merőleges, gyüjtő-

156. ábra.



síknak nevezzük. E síknak az F-hez közel fekvő pontjai a következő fontos tulajdonságokkal bírnak.

a) Legyen S J egy tetszés szerinti beeső sugár. Minthogy a tükör egyes részei egymással összeillők, azért az G-nél ugyanazon tulajdonsággal fog bírni, mint A-nál. Hogy ha tehát a C G melléktengelyt meghúzzuk, úgy ez a vele párhuzamos S J sugárra ugyanazon szerepet játsza, mint előbb a főtengely. A C G-vel párhuzamosan beeső sugarak tehát C G felében fognak találkozni, s minthogy a tükör kis táglatánál fogva B G = A F-fel, azért B lesz a C G-vel párhuzamosan beeső sugarak gyüjtő-pontja. Ebből következik, hogy valamely ferdén beeső S J sugár a visszaverődés után B ponton tartozik keresztül menni, vagyis azon ponton, melyben a beeső sugárral párhuzamos melléktengely a gyüjtő-síkot átdöfi; és hogy valamennyi S J-vel párhuzamos sugár B ponton megy keresztül.

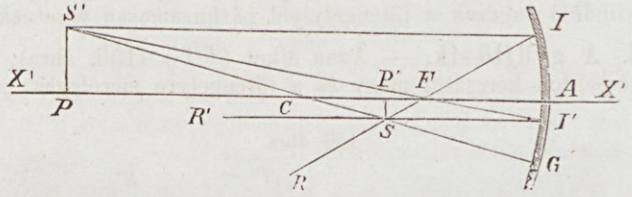
b) Viszont minden, a gyüjtő-sík B pontján keresztül menő R J sugár oly S J irányban veretik vissza, mely a B-n keresztül menő C G melléktengelylyel párhuzamos.

A gyüjtősík valamely pontjából kiinduló sugarak tehát a visszaverődés után egymással párhuzamosak.

A gyüjtő-sík e két tulajdonságából következik, hogy ha a ferdén beeső SJ sugarat azon H pontból kiindulva képzeljük, melyben a sugár e gyüjtősíkot átdöfi, úgy a JR visszavert sugár párhuzamos tartozik lenni a H-n keresztül menő CK melléktengelylyel. A beeső és a visszavert sugár e két melléktengelylyel a CHJB paralellogrammot alkotják. E négyszög segítségével tehát igen egyszerű módon szerkeszthetjük meg a bármely irányú beeső sugárhoz tartozó visszavert sugarat.

4. **Egy, a főtengelyen kivül lévő világító pontnak megfelelő gyüjtő-pont.** — Legyen S (157. ábra) a világító pont. Az

157. ábra.



S ponton keresztül húzott SCG melléktengely a beeső sugarakra a főtengely szerepét játsza, tehát ezen kell lenni az S pontnak megfelelő gyüjtőpontnak. Látjuk tehát, hogy egy világító pontból kiinduló sugaraknak homocentrikusoknak kell lenniök a törés után és a két megfelelő pont egy melléktengelyen fekszik.

A főtengelylyel párhuzamos SJ sugár oly JR irányban veretik vissza, mely a főgyüjtőponton megy keresztül; az ez utóbbi ponton keresztülmenő SJ' beeső sugár pedig a főtengelylyel párhuzamosan veretik vissza. S pont gyüjtőpontja tehát azon S' pontban van, melyen e két visszavert sugár az SG melléktengelyen találkozik.

Húzzuk meg az S és S' pontokból a főtengelyre merőleges SP és S'P' vonalakat. A tükör kis táglatánál fogva az JJ' ív hoszszát A-ból a főtengelyre bocsátott merőleges nagyságával cserélhetjük fel; minek következtében AJ helyett SP-t és AJ' helyett S'P'-t lehet tenni.

Az FSP és FJ'A hasonló háromszögekből következik, hogy

$$\frac{PF}{AF} = \frac{SP}{AJ'};$$

másrészt az FJA és FS'P' háromszögekből

$$\frac{AF}{P'F} = \frac{AJ}{P'S'};$$

s minthogy $AJ = SP$ és $AJ' = S'P'$ következik, hogy

$$\frac{PF}{AF} = \frac{AF}{P'F}$$

és ha PF és P'F hosszakat l és l'-el jelöljük, úgy

$$ll' = f^2$$

Az l és l' hosszakat F-től balfelé igenlegeseknek és jobbfelé nemlegeseknek nevezzük.

Az FI'A és FSP hasonló háromszögekből továbbá

$$\frac{S'P'}{SP} = \frac{FA}{PF}$$

vagy, ha az illető pontok távolságait a főtengelytől h és h'-el jelöljük, úgy az S' pont helyének meghatározására nyerjük a következő két egyenletet:

$$2. \ldots\ldots \begin{cases} ll' = f^2 \\ \frac{h'}{h} = \frac{f}{l} \end{cases}$$

Ez egyenletek mutatják, hogy valamennyi az SP merőlegesen lévő világító pont gyüjtőpontja szükségkép S'P'-ben van. Sőt a tükör tökéletes részarányosságánál fogva a P-n keresztül menő és a főtengelyre merőleges sík pontjainak gyüjtőpontjai szintén a P'-n keresztül menő, amazzal párhuzamos síkban vannak.

5. **Valamely tárgy és a hozzá tartozó kép helyzetének és nagyságának viszonya.** — Az utóbb mondottakból következik, hogy ha SP a főtengelyre merőleges sík, úgy annak a tükör visszaverődése által származott képe S'P'-ben van, mely kép szintén merőleges a főtengelyre és a tárgygyal hasonló. E kép helyzete a 2) alatti egyenlet elseje által, nagysága pedig másodika által van meghatározva.

E két egyenletből következik:

Ha az SP tárgy a főgyüjtőpontból balra van, akkor l és l' is igenleges, tehát a kép is balra van és valós.

Ha a tárgy a végtelenben van, úgy l és l' is igenleges, tehát a kép is balra van és valós.

Ha a tárgy a végtelenben van, úgy képe a gyüjtősíkban van. Azon mértékben, melyben a tárgy a C középpont felé közeledik, tehát l kisebbedik, azon mértékben nagyobbodik l', ez alatt a kép mindig kisebb a tárgynál és szintén C-felé közeledve nagyobbodik. C-nél a tárgy és kép összeesik. Ha a tárgy C és F között van, úgy $l < f < l'$, a kép C-től balra esik és nagyobb a tárgynál. A mint a tárgy F-hez közeledik, a kép C-től távolodik, ha az az F pontot elérte, ez a végtelenben van.

E valós kép mindig meg van fordítva, mert a C pont a kép és tárgya között marad.

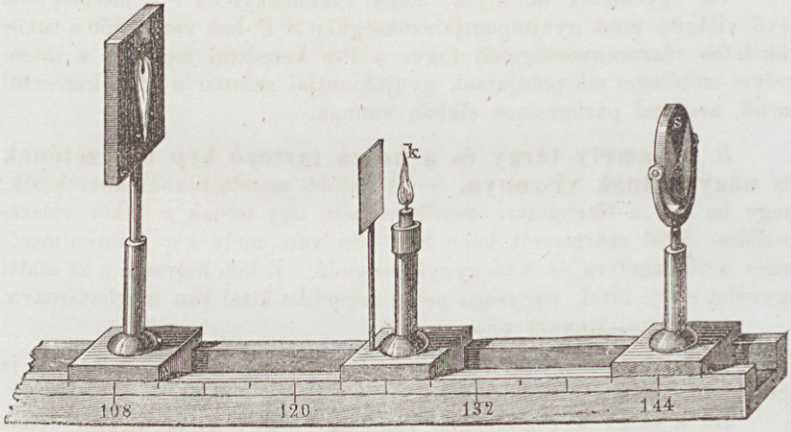
Ha a tárgy F-től jobbra fekszik, úgy a kép is jobbra esik s minthogy l' nagyobb f-nél, míg l kisebb f-nél, azért az F és A közt lévő tárgy képe a tükör mögé esik, vagyis a kép képzetes és nagyobb a tárgynál. Ha a tárgy a tükör mögött van, tehát ha képzetes, ugy a kép F és A között kisebb a tárgynál és valós.

E képzetes vagy valós kép mindig egyenes, mert C a tárgy és képe közötti téren kivül esik.

6. A homorú tükör képeinek észlelése. — Az épen megvizsgált képek lényegesen különböznek a síktükör képeitől; mert a síktükörre eső homocentrikus sugarak akkép veretnek vissza, mint ha egy, a tükör mögött lévő ponttól indulnának ki, e képek tehát mindig képzetesek. A szem csak a fönt említett tulajdonságnál fogva látja a képeket. A homorú tükörnél valós képeket is nyerünk, vagyis a visszavert sugarak itt tényleg találkoznak. E képeket azért ernyőre is lehet vetíteni, ha az ernyőt épen oda állítjuk, a hol a kép keletkezik, mert az egy pontban egyesülő sugarak az ernyőt annyira megvilágítják, hogy az azon előállott kép minden oldalról látható.

E kísérleteknél használható berendezést a 158. ábra mutatja. S a homorú tükör, melynek hátsó részét mutatja az ábra. Ez a fő-

158. ábra.



gyüjtőpont és a mértani középpont közt lévő gyertyának képét a papirernyőre vetíti. A gyertya mellé ernyő van alkalmazva, mely meggátolja, hogy ennek direkt fénye oda essék, a hol képe előáll. Az által, hogy a gyertya és az ernyő helyeiből eltolhatók, a fönnebbi egyenletből vont következtetéseket e készülékkel kisérletileg igazolhatjuk.

A domború tükrök képleteit tökéletesen akkép nyerjük, mint a homorú tükrökéit; de az ezekre nyert képleteket közvetetlenül alkalmazhatjuk a domború tükrökre, csak r helyett $-r$-t kell helyettesítenünk.

E szerint a domború tükör főgyüjtő-távolsága

$$f = \frac{-r}{2}$$

azaz a visszavert sugarak meghosszabbításaikban, a tükör mögött, a mértani sugár felében találkoznak. A főgyüjtőpont tehát képzetes. Ezt tekintetbe véve, a többi képletek azonosak a homorú tükör képleteivel.

MÁSODIK FEJEZET.

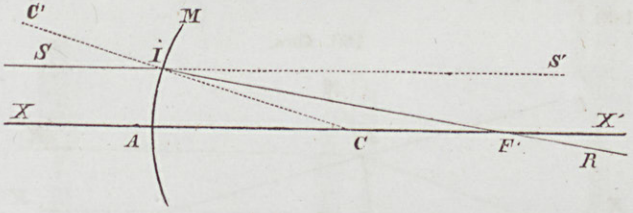
A fény törése gömbfelületek által határolt közegekben.

I. Egy gömbfelülettel határolt két közeg.

1. Kezdjük a legegyszerűbb esettel, melynél két határtalan közeg gömbfelület által van egymástól elválasztva. A közegek egyike a levegő és másika a levegőnél nagyobb törőképességgel biró test.

Legyen MN (159. ábra) a két közeget elválasztó gömbfelület, melynek táglata igen csekély, C mértani középpontja és A a felület középpontja; a tükröknél használt elnevezéseket megtartva, XX' a rendszer főtengelye, és CC' egy melléktengelye.

159. ábra.



2. **A fógyüjtőpontok.** — Valamely, a főtengelylyel párhuzamos SJ sugár (előbbi ábra), mely a levegőben terjed, a második közeg által akkép töretik meg, hogy a CC' beeső merőlegeshez közeledvén, a főtengelyt F' pontban metszi. Az F'JC törőszög kisebb, mint az SJC' beeső szög. Ha a második közeg törőegyüttható̊ját n-el jelöljuk, úgy

$$\frac{\sin SJC'}{\sin F'JC} = n$$

És mivel $SJC' = ACJ$ és

$$\sin ACJ = \sin JCF',$$ azért

$$\frac{\sin SJC'}{\sin F'JC} = \frac{\sin JCF'}{\sin F'JC} = n$$

Az JCF' háromszögből pedig

$$\frac{\sin JCF'}{\sin F'JC} = \frac{JF'}{CF'}$$ tehát

$$\frac{JF'}{CF'} = n$$

MN kis táglatánál fogva JF' helyett AF'-et írhatunk. Továbbá $CF' = AF' - AC$, és ha a gömb sugarát r-el jelöljük, úgy

$$\frac{AF'}{AF' - r} = n \quad \text{a miből} \quad AF' = \frac{nr}{n-1}$$

Ha a közegek és az őket elválasztó felület nem változik, r és n állandó mennyiségek, tehát AF' mindig ugyanazon értékkel bír, a felület bármely I pontjában essék is be a sugár: a főtengelylyel párhuzamosan beeső sugarak akkép töretnek meg, hogy valamennyi a főtengelyt ugyanazon F' pontban metszi.

Ezen F' pontot a rendszer második főgyüjtőpontjának fogjuk nevezni; távolságát A ponttól f'-el jelöljük, melyet a rendszer második főgyüjtő-távolságnak nevezünk. Ennek egyenlete

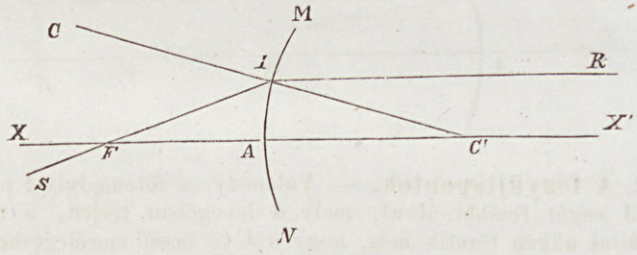
$$f' = \frac{nr}{n-1}$$

F' pont távolsága a gömb középpontjától $CF' = f' - r$ vagyis

$$CF' = \frac{r}{n-1}$$

Legyen továbbá SI (160. ábra) olyan beeső sugár, mely a törés után a főtengelylyel párhuzamos. E beeső sugár a főtengelyt F pontban metszi.

160. ábra.



Az előbbi módon könnyen belátható, hogy

$$\frac{\sin FIC'}{\sin RIC} = \frac{\sin FIC}{\sin ICF} = n$$

Az FIC háromszögből továbbá:

$$\frac{\sin FIC}{\sin ICF} = \frac{FC}{FI}$$

s minthogy FI helyett AF-et lehet tenni, és FC helyett $AF + r$-et, következik, hogy

$$\frac{AF + r}{AF} = n \quad \text{tehát}$$

$$AF = \frac{r}{n-1}$$

Látni való, hogy valamennyi F-ből kiinduló sugár a főtengelylyel párhuzamosan töretik meg.

Ezen F pont a rendszer első főgyüjtőpontja, AF az első főgyüjtőtávolság, melyet f-el fogunk jelölni. CF távolság egyenlő lévén $AF + r$-el, a két főgyüjtőpontra vonatkozó egyenletek:

1) .... $f = \frac{r}{n-1}$, $CF = \frac{nr}{n-1}$

2) .... $f' = \frac{nr}{n-1}$, $CF = \frac{r}{n-1}$

Ebből következik, hogy a második főgyüjtőtávolság viszonya az elsőhöz a törőegyüttható:

$$\frac{f'}{f} = n$$

Továbbá látjuk, hogy F' ép oly távol van C-től, mint F A-tól.

A nyert egyenletek az f és f' hosszaknak csak absolut nagyságait adhatják meg; jeleiket akkép állapítjuk meg, hogy igenlegesek lesznek, ha a gyüjtőpontok valósak, és nemlegesek, ha ezek képzetesek. A megvizsgált esetekben mindkét gyüjtőpont valós volt.

Ezek alapján megmutathatjuk, hogy a gyüjtőpontokon a tengelyre merőlegesen emelt síkok itt is azon tulajdonságokkal bírnak, mint a tükröknél, úgy hogy a világító pont képének meghatározása egészen hasonló az ott követett eljáráshoz. A tárgy és kép helyzeteinek és nagyságának egyenlete itt is:

$$ll' = ff' \text{ és } h' : h = f : l$$

II. A lencsék.

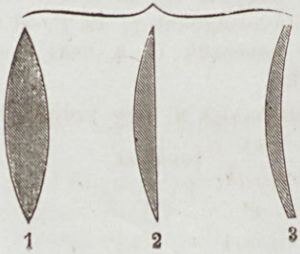
1. Lencsének olyan átlátszó testet nevezünk, mely két felület által van határolva, és e felületek legalább egyike görbe felület.

Itt csak gömblencsékkel fogunk foglalkozni, azaz olyanokkal, melyek vagy két gömbfelület, vagy egy gömbfelület és egy sík által vannak határolva; mivel az optikai műszereknél csak ilyen lencsék vannak alkalmazva.

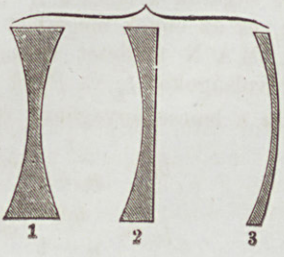
A lencsék hatfélék, és két csoportra osztatnak fel.

Az első csoportba tartoznak: 1. a kétszerdomború (161. ábra), 2. a síkdomború és 3. a domború-homorú lencse, melynek domború felülete nagyobb, mint a homorú. E három lencse középen legvastagabb.

161. ábra.



162. ábra.

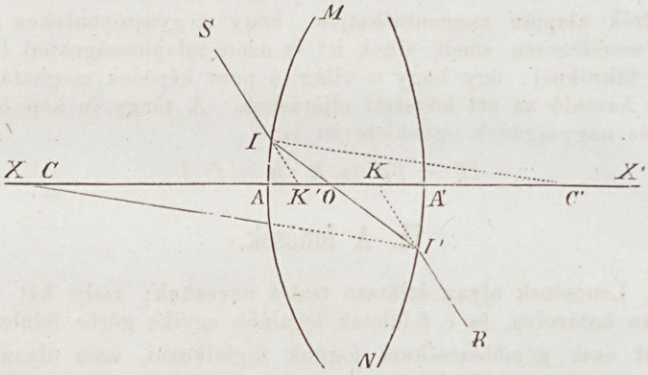


A második csoportba tartoznak azok, melyek a középen legvékonyabbak, ezek 1. a kétszer-homorú (162. ábra), 2. a síkhomorú és 3. a homorú-domború lencse, melynek homorú felülete nagyobb, mint a domború.

A következőkben látni fogjuk, hogy az első csoportba tartozó lencsék főgyüjtőpontjai valósak, vagyis a sugarakat összegyüjtik és azért gyüjtő-lencséknek neveztetnek. A második csoportba tartozók főgyüjtőpontjai képzetesek, ezek a sugarakat szétszórják, és azért szóró-lencséknek neveztetnek.

2. **A kétszer-domború lencse.** — Legyen MN (163. ábra) egy kétszer-domború lencse keresztmetszete, C és C′ a gömbfelületek

163. ábra.



mértani középpontja, úgy az ezeket összekötő XX′ határtalan egyenes a rendszer főtengelye. Az A′C és AC gömbsugarakat r és r'-el fogjuk jelölni, melyek egyenlő vagy különböző hosszúságuak lehetnek.

Azt azonnal látjuk, hogy az XA beeső sugár töretlenül megy keresztül a lencsén, mert az első felületre merőleges lévén, útját AA′-n folytatja, de ez ismét merőleges a második felületre, és azért itt sem téríttetik el útjától.

Feltételezvén, hogy a fény a lencse A oldalán esik be, és a megtört sugarak a lencsét A′ oldalán hagyják el, az MAN felületet elsőnek, és az ennek megfelelő gyüjtőtávolságokat f_1 és f'_1-el fogjuk jelölni; MA′N felületet másodiknak nevezzük és a neki megfelelő gyüjtőtávolságokot f_2 és f'_2-el jelöljük.

Ha a lencse anyagának törőegyütthatója n, úgy tudjuk, hogy

$$f_1 = \frac{r}{n-1} \text{ és } f'_1 = \frac{nr}{n-1} \text{ továbbá}$$

$$f_2 = \frac{nr'}{n-1} \text{ és } f'_2 = \frac{r'}{n-1}$$

Tehát az első felület második gyüjtő-távolsága f'_1, és a második felület első gyüjtő-távolsága f_2 közötti viszony

$$\frac{f'_1}{f_2} = \frac{r}{r'}$$

3. **Az optikai középpont. Csomópontok. Főpontok és fősíkok.** — C, C' középpontokból húzzunk két párhuzamos sugarat CI és CI'-et (előbbi ábra); az II' egyenes a főtengelyt a lencsén belül O pontban metszi. Ezen O pont különös tulajdonságainál fogva optikai középpontnak neveztetik.

Az I és I' pontokban a törő-felületekre fektetett érintő síkok egymással párhuzamosak, mert a CI és CI' vonalakra merőlegesek. Hogy ha tehát valamely sugár oly SI irányban esik az A felületre, hogy a lencsében II' irányban halad, úgy e sugár a lencsét SI-vel párhuzamos I'R irányban hagyja el; mivel a sugár ezen esetben oly átlátszó közegen ment keresztül, mely két párhuzamos lap által van határolva.

CI'O és C'IO hasonló háromszögekből következik, hogy

$$\frac{CI'}{CO} = \frac{C'I}{C'O} \quad \text{a miből}$$

$$\frac{CI' - CO}{CI'} = \frac{C'I - C'O}{C'I}$$

De $CI' = CA' = r$ és $C'I = C'A = r'$, azért

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{r}{r'}$$

Az O pont fekvését tehát csupán azon feltevésből határoztuk meg, hogy CI' és C'I gömbsugarak egymással párhuzamosak, anélkül hogy e sugarak hajlását tekintetbe vettük volna. Ebből következik, hogy bármily sugár, mely akkép esik a lencsére, hogy a törés után O ponton keresztül megy, a lencsét eredeti irányával párhuzamosan hagyja el.

Hosszabbítsuk meg az SI és az RI' sugarakat addig, mig a főtengelyt K, K' pontban metszik. Minthogy az SK beeső sugár a főtengelyt a törés után O pontban metszi, azért K és O az első felületre nézve megfelelő pontok. Miután másrészt IOI' beeső sugár a törés után a főtengelyt K' pontban metszi, azért O és K' a második felületre nézve megfelelő pontok. Vagy más szóval K és K' az optikai középpont képei majd az A, majd az A' felületen át tekintve. K és K' pontok fekvése tehát csak az optikai középponttól függ; valamennyi beeső sugár, mely meghosszabbításában K ponton megy keresztül, az első törés után O felé tart, és a lencsét a K' ponton keresztül menő, a beeső sugárral párhuzamos vonalban hagyja el.

K és K' pontokat a rendszer csomópontjainak nevezzük. K pont, a melyen a beeső sugár megy keresztül az első, és K', a mely felé a megtört sugár tart, a második csomópont.

Az optikai középpont helyzetére nyertük ezen egyenletet:

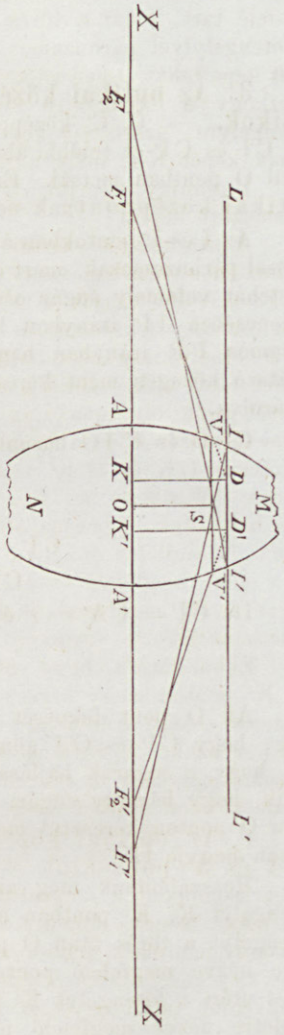
$$\frac{AO}{A'O} = \frac{r}{r'}$$

de láttuk, hogy $\frac{r}{r'} = \frac{f'_1}{f_2}$ a miből következik, hogy

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{f'_1}{f_2}$$

Ez új relatio segítségével az optikai középpontot és a csomópontokat a következő módon szerkeszthetjük meg.

Legyen F_1 és F'_1 az MN lencse (164. ábra) A felületének első és második főgyüjtő-pontja, és F_2, F'_2 az A' felületre vonatkozó főgyüjtőpontok. Húzzuk meg az LL' a főtengelylyel párhuzamos vonalat, ez a lencse két felületét I és I' pontokban metszi. A lencse kis táglatánál fogva AI-t és A'I'-t az A és A'-ben a főtengelyre emelt merőlegesekkel lehet fölcserélni és így AI = A'I'.



164. ábra.

Ha LI egy beeső sugár, úgy az A felület azt IF'_1 irányban töri meg; és ha L'I' beeső sugár, úgy az A' felület azt $I'F_2$ irányba hajlítja. Azon S pontból, melyben e két megtört sugár találkozik, bocsássunk a főtengelyre merőlegest; a hol e merőleges a főtengelyt metszi, ott van az optikai középpont. Mert az F'_1IA, F'_1SO derékszögü hasonló háromszögekből következik, hogy

$$\frac{AI}{SO} = \frac{AF'_1}{OF'_1}$$

az $F_2I'A'$, F_2SO hasonló háromszögekből továbbá következik, hogy

$$\frac{A'I'}{SO} = \frac{A'F_2}{OF_2}$$

s minthogy AI = A'I' lesz

$$\frac{AF'_1}{OF'_1} = \frac{A'F_2}{OF_2} \quad \text{vagy}$$

$$\frac{AF'_1 - OF'_1}{AF'_1} = \frac{A'F_2 - OF_2}{A'F_2} \quad \text{vagy végre}$$

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{AF'_1}{A'F_2} = \frac{f'_1}{f_2}$$

Tehát O csakugyan a lencse optikai középpontja.

Tekintsük az SO merőlegest világító tárgynak és szerkeszszük meg a két oldalról származó képeit. Az A felületre beeső SI sugár F'_1-felé tart, tehát a törés után párhuzamos a főtengelylyel; az SV a főtengelylyel párhuzamos sugár a törés után VF_1 irányú lesz; S pont képe tehát D-ben van, a hol e két megtört sugár találkozik. És minthogy a főtengelyre merőleges tárgy képe szintén merőleges a főtengelyre, azért SO képe DK-ban lesz, és így ismét megkaptuk O-nak képét K-t, mely a rendszer első csomópontja.

Ugyanígy nyerjük D'K'-t, mint SO-nak az A' felületen át származott képét.

A szerkesztés szerint I, D, D', I' pontok egy, a főtengelylyel párhuzamos vonalban vannak, a miből következik, hogy $AI = KD = K'D' = A'I'$, vagyis SO képei KD és K'D' a főtengely ugyanazon oldalán fekszenek és egyenlő magasságuak. Valamennyi beeső sugár, mely meghosszabbításában D ponton keresztül megy, az A felület által akkép töretik meg, hogy az S ponton megy keresztül, a lencsét pedig oly vonal irányában hagyja el, mely D'-n megy keresztül. E beeső sugarak és a megfelelő megtört sugarak tehát a főtengelyre merőleges DK és D'K' vonalak egyenlő magasságú pontjaiban találkoznak. Minthogy az LL' vonal magasságához semmiféle föltételt nem kötöttünk, ugyanaz áll a DK és D'K' vonal bármely pontjára nézve. A felületek tökéletes részarányosságánál fogva, valamely beeső és a neki megfelelő megtört sugár a K és K' pontokban a főtengelyre emelt merőleges síkokat is a főtengelytől egyenlő távolságban fogja átdöfni.

Ebből látjuk, hogy valamely beeső sugár, mely K-felé tart, mindig K' ponton megy keresztül, ha a megtört sugár nem is volna párhuzamos eredeti irányával; az ilyen pontokat a rendszer *főpontjainak* nevezzük. A KD és K'D' síkok pedig a *fősíkok*. A csomópontok, melyeken keresztül menő két megfelelő sugár mindig párhuzamos, ezen esetben összeesnek a főpontokkal.

4. **Az optikai középpont és a csomópontok távolságai az A és A' pontoktól.** — Látjuk, hogy az optikai középpont és a két csomópont a kétszer-domború lencsénél a lencsén belül fekszenek. Az elsőnek, O-nak, a felületektől való távolságának meghatározására, jelöljük a lencse vastagságát e-vel, akkor

$$AO + A'O = AA' = e$$

és az előbb talált egyenlet szerint

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{f'_1}{f_2}$$

e két egyenletből

1. a) . . . . . $AO = \frac{ef'_1}{f'_1 + f_2}$ és 1. b) $A'O = \frac{ef_2}{f'_1 + f_2}$

E két egyenlet megadja O pont távolságát A és A' pontoktól, ha ismerjük a két felület gyüjtő-távolságait, vagyis a gömbök sugarait és a lencse anyagának törő-együtthatóját.

Az első csomópont K meghatározására az F_1DK és F_1VA hasonló derékszögü háromszögeket használhatjuk, melyekből

$$\frac{DK}{AV} = \frac{F_1K}{AF_1}$$

De $DK = AI$ és $AV = SO$, továbbá $F_1K = AF_1 + AK$ ezeket helyettesítve:

$$\frac{AI}{SO} = \frac{AF_1 + AK}{AF_1} = \frac{f_1 + AK}{f_1}$$

Másrészt az F'_1AI és F'_1OS hasonló derékszögü háromszögekből:

$$\frac{AI}{SO} = \frac{AF'_1}{OF'_1} = \frac{AF'_1}{AF'_1 - AO} = \frac{f'_1}{f'_1 - AO}$$

a miből következik, hogy

$$\frac{f_1 + AK}{f_1} = \frac{f'_1}{f'_1 - AO}$$

AO értékét helyettesítvén, nyerjük, hogy

$$\frac{f_1 + AK}{f_1} = \frac{f'_1}{f'_1 - \frac{ef'_1}{f'_1 + f_2}}$$ a miből

$$2.\ a)\ \ldots\ldots\ AK = \frac{ef_1}{f'_1 + f_2 - e}$$

A második csomópont K' távolsága ugyanily módon adódik ki az $F'_2D'K'$, $F'_2V'A'$ és $F_2A'I'$, F_2OS hasonló háromszögekből, miáltal nyerjük, hogy

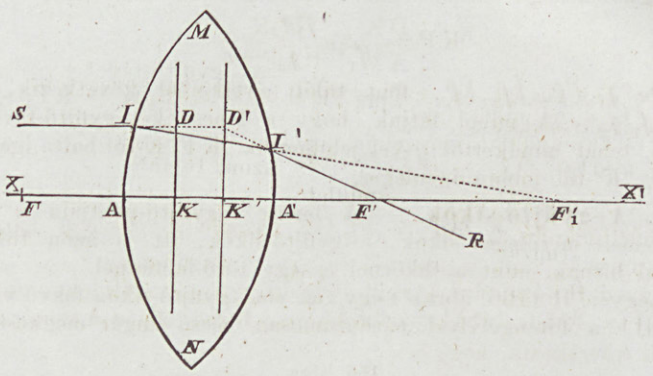
$$2.\ b)\ \ldots\ldots\ A'K' = \frac{ef'_2}{f'_1 + f_3 - e}$$

E hosszak jeleit illetőleg egyszer mindenkorra megállapítjuk, hogy ha A a kiinduló pont, úgy AK tőle jobbra igenleges; A'K' pedig A'-től balra igenleges. Jelen esetben mindkét hosszúság igenleges.

5. A lencse főgyüjtő-pontjai és a gyüjtő-távolságok. — Ismervén K és K' pontok helyzeteit és tekintetbe véve, hogy a fősíkok e pontokon mennek keresztül, a főgyüjtő-pontokat könnyen meghatározhatjuk.

Legyen F'_1 (165. ábra) az A felület második főgyüjtő-pontja, és SI egy főtengelylyel párhuzamosan beeső sugár, úgy ez IF'_1 irányban töretik meg; a megtört sugár az A' felületet I' pontban éri, a honnan ismét levegőbe megy, és pedig oly I'R vonal irányában, mely a második fősíkot azon magasságban találja, mint a melyben a beeső sugár az elsőt metszi. Az I'R sugár irányát tehát megkapjuk, ha SI-t meghosszabbítjuk, míg a második fősíkot D' pontban metszi; D'I' meghosszabbítása adja I'R-ret. E sugár a főtengelyt F' pontban

165. ábra.



metszi; határozzuk meg e pontnak távolságát K' ponttól. Az $F'_1 A I$ és $F'_1 A' I'$ háromszögekből

$$\frac{A F'_1}{A' F'_1} = \frac{A I}{A' I'}$$

Más részt az $F' K' D'$ és $F' A' I'$ háromszögekből

$$\frac{K' F'}{A' F'} = \frac{K' D'}{A' I'}$$

S minthogy $A I = K' D'$, azért

$$\frac{K' F'}{A' F'} = \frac{A F'_1}{A' F'_1}$$

De $A' F' = K' F' - A' K'$ és $A' F'_1 = A F'_1 - e$; ha ez értékeket helyettesítjük, úgy

$$\frac{K' F'}{K' F' - A' K'} = \frac{A F'_1}{A F'_1 - e} = \frac{f'_1}{f'_1 - e}$$

és ha $A' K'$ fönt talált értékét helyettesítjük, úgy nyerjük, hogy

$$\frac{K' F'}{K' F' - \dfrac{e f'_2}{f_1' + f_2 - e}} = \frac{f_1'}{f_1' - e}$$ a miből

$$3) \quad \ldots \quad K' F' = \frac{f_1' f_2'}{f_1' + f_2 - e}$$

$K' F'$ értéke tehát $K' D' = A I$ magasságtól független, a miből látjuk, hogy valamennyi a főtengelylyel párhuzamos sugár a törés után F'ben találkozik. — F' a lencse második főgyüjtő-pontja, és $K' F'$, melyet φ-vel fogunk jelölni, a második gyüjtő-távolság.

Ha a lencse jobb oldaláról a főtengelylyel párhuzamosan beeső sugarak gyüjtő-pontját ugyanily módon megszerkesztjük, úgy az első főgyüjtő-pontot nyerjük, melynek távolságát K-tól az első gyüjtő-

távolságnak nevezzük; e távolságra az előbbihez hasonló módon nyerjük, hogy

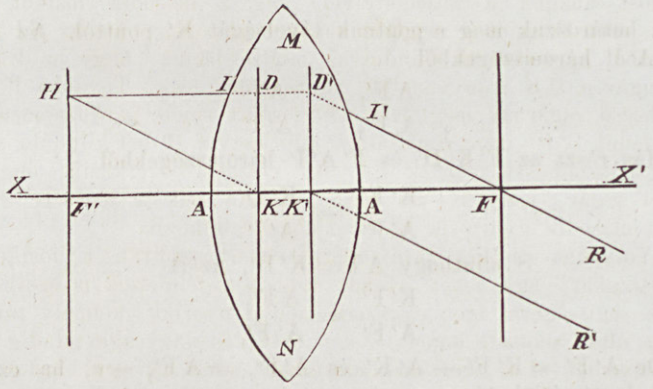
$$KF = \frac{f_1 f_2}{f_1' + f_2 - e}$$

De f_1, f_1', f_2, f_2' fönt talált értékeiből következik, hogy $f_1 f_2 = f_1' f_2'$. A miből látjuk, hogy a lencse két gyüjtő-távolsága egyenlő, tehát mindkettőt φ-vel jelölhetjük, KF K-tól balra igenleges és K'F' K'-től jobbra igenleges.

6. **A gyüjtő-síkok.** — A lencse főgyüjtő-pontjain a főtengelyre emelt merőleges síkok, a gyűjtő-síkok, itt is azon tulajdonságokkal bírnak, mint a tükörnél és egy törő-felületnél.

Legyen H (166. ábra)*) egy, az első gyüjtő-síkon fekvő világító pont. HI a főtengelylyel párhuzamosan beeső sugár meghosszabbí-

166. ábra.



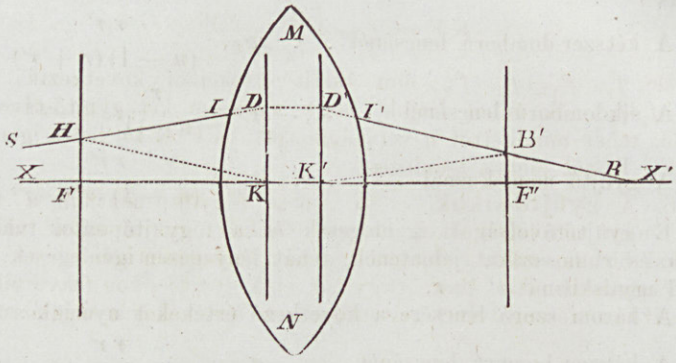
tásában a fősíkokat D, D' pontban metszi, e sugár a lencsét D'F' vonal irányában hagyja el. Továbbá a HK beeső sugár, mely az első csomóponton megy keresztül, a lencsét K'R' HK-val párhuzamos irányban hagyja el. H-nak gyüjtő-pontja tehát ott van, a hol a két megtört sugár találkozik. Miután KF = K'F' és HF = D'K', azért KFH és F'K'D' derékszögü háromszögek összeillők; minek következtében D'R párhuzamos HK-val és igy K'R'-el is. Tehát H pont gyüjtőpontja a végtelenben van. HK vonalat irányvonalnak nevezvén, mondhatjuk, hogy :

ha valamely világító pont az első gyüjtősíkon fekszik, ugy a lencse által megtört sugarak egymással és az irányvonallal párhuzamosak. — Azon külön esetben, melyben a világító pont F-ben van, a sugarak a főtengelylyel párhuzamosan hagyják el a lencsét.

Legyen SI (167. ábra) bármily irányú beeső sugár, ugy meghosszabbítjuk, míg az első fősíkot D pontban metszi, és innen pár-

*) F és F' fel van cserélve; I' alá A' teendő.

167. ábra.



huzamost húzunk a főtengelylyel, míg a második fősíkot D'-ben találja, ezen D' pont a megtört sugár egy pontja. De az SI sugarat H pontból képzelhetjük kiindulva, miáltal látjuk, hogy az I'R megtört sugár a HK irányvonallal párhuzamos lesz. Továbbá B'J'-nek, mint beeső sugárnak megfelelő SI megtört sugár párhuzamosnak tartozik lenni B'K' irányvonallal; s minthogy a B'-ből kiinduló sugarak mind párhuzamosak lesznek SI-vel, viszont következik, hogy valamennyi sugár, mely SI-vel párhuzamosan esik a lencsére, a törés után a második gyüjtősík B' pontjában találkozik.

Valamint itt két törőfelületnél szerkesztettük a fősíkokat és gyüjtősíkokat, úgy lehet azokat több törő-felületnél is szerkeszteni, melyek segítségével igen egyszerű módon nyerjük valamely tárgynak, a törés által alkotott képét; e kép helye és nagysága mindig ugyanazon egyenlet által van meghatározva, mint az egy törő-felületnél vagy a gömbtükörnél, ha a távolságokat mindig az illető rendszer főgyüjtő-pontjaitól számítjuk.

7. Végtelen keskeny lencsék. — A gyakorlatban használt lencsék többnyire oly keskenyek, hogy vastagságaikat el lehet hanyagolni. Ezen esetre egyenleteinkben e helyett zérust teszünk; ebből mindenek előtt következik, hogy

$$AO = o,\ A'O = o,\ AK = o,\ A'K' = o.$$

Ha azon pontot, melyben a főtengely a lencsét metszi Q-val jelöljük, úgy Q-ba esnek: az optikai középpont, a két csomópont; a távolságok természetesen Q-tól számíttatnak. A fősíkok egy, Q-n keresztül menő sík által helyettesíttetnek, és a Q-n keresztül menő beeső sugarak eltérítés nélkül folytatják utjokat.

Gyüjtőtávolságaik a következő közös értékkel bírnak:

$$\varphi = QF = QF' = -\frac{f_1 f_2}{f'_1 + f_2}$$

és ha $f_1 f'_1$ és f_2 hosszakat a törő-egyható n és a görbületi sugarak r, r' által fejezzük ki, úgy az illető görbületi sugarak jeleit

tekintetbe vévén, a három gyüjtőlencsére a következő értékeket nyerjük :

A kétszer-domború lencsénél . . $f = \frac{r\,r'}{(n-1)(r+r')}$

A síkdomború lencsénél . . . $f = \frac{r}{n-1}$

A gyüjtő meniskusnál . . . . $f = \frac{r\,r'}{(n-1)(r'-r)}$

E gyüjtőtávolságok igenlegesek és a főgyüjtőpontok valósak, mert r és r' hosszakat jelentenek, tehát lényegesen igenlegesek, és a gyüjtő meniskusnál $r' > r$.

A három szoró lencsére a következő értékeket nyerjük :

A kétszer-homorú lencsénél . . $f = \frac{r\,r'}{(n-1)(r+r')}$

A sík-homorú lencsénél . . . $f = \frac{r}{n-1}$

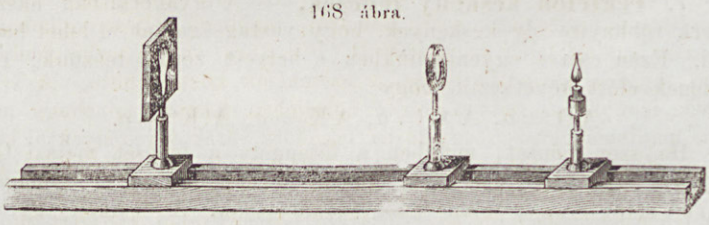
A szoró meniskusnál . . . . $f = \frac{r\,r'}{(n-1)(r-r')}$

E gyüjtőtávolságok nemlegesek és a főgyüjtőpontok képzetesek. A szoró meniskusnál $r > r'$.

A megfelelő pontok, valamint a tárgy és képének viszonylagos helyzete és az utóbbiak viszonylagos nagysága ugyanazon egyenletek által vannak meghatározva a véges vastagságú lencséknél, mint a végtelen kis vastagságuaknál.

8. **A képek észlelése.** — A lencsék valós képeit, ép úgy mint a tükrökéit, objective lehet előállítani, és ez által a fönt levezetett törvényeket kisérletileg igazolni. A berendezést a 168. ábra mutatja, melynél egy égő gyertya gyüjtőlencse által ernyőre vetíttetik.

168. ábra.



Ily módon meghatározhatjuk a lencse gyüjtő-távolságát is, ha t. i. tetszés-szerinti tárgy-távolságokra megkeressük a kép-távolságokat és az $ll' = f^2$ egyenletből nyert értékek számtani közepét veszszük.

9. **A gömbi eltérés.** — A fönnebb levezetett egyenleteknél feltételeztük, hogy a lencse táglata a számításba vett többi méretek-

hez képest elenyésző csekély. Ha azonban a lencse táglata nagy, akkor a szélein megtört sugarak találkozási pontja közelebb fekszik a lencséhez, mint a főtengelyhez közel beeső sugarak gyüjtőpontja. Tehát ekkor a homocentrikusan beeső sugarak már nem homocentrikusak a törés után, s ennélfogva ilyen lencsék elmosódott, tisztátalan képet adnak.

Az egy pontból kiinduló sugarak találkozó pontjainak eltérése annál nagyobb, minél nagyobb a lencse táglata és minél kisebb a határfelület mértani sugara, vagyis minél nagyobb a felületek hajlása. Ezen eltérést a lencse gömbi eltérésének nevezzük.

Ha a nagyobb hajlású lencsék széleit elfödjük, úgy az által, hogy csak a főtengelyhez közel eshetnek be sugarak, a kép tisztább lesz, de kevésbbé világos.

Ha kis gyüjtő-távolság mellett nagyobb világításra van szükség, úgy mindig előnyösebb két lencsét alkalmazni, melyek mindegyike kétszer akkora gyüjtő-távolsággal bír; mert ha a két lencsét egymástól bizonyos távolságra felállítjuk, úgy a második lencsére csak a főtengelyhez közel esnek be sugarak.

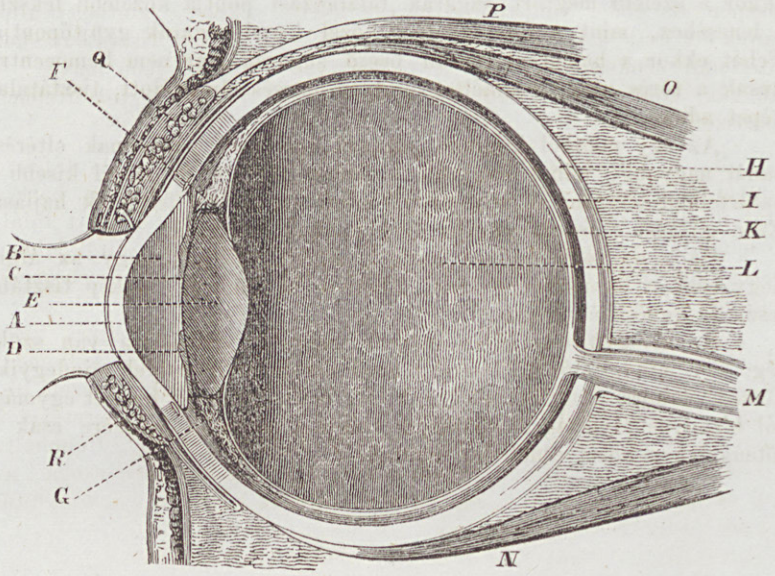
HARMADIK FEJEZET.

A szem és az optikai eszközök.

I. Az emberi szem.

1. **A szem leirása.** — Azon szerv, melylyel a minket környező tárgyak helyzetét, nagyságát és távolságát biztosan és pontosan meg tudjuk itélni, igen hasonlít a sötét kamarához, melynek hátsó lapjára az elől lévő testek kisebbítve és felfordítva, de legnagyobb hűséggel lemásoltatnak. Szemünk sötét kamarája majdnem teljesen gömbalakú és feszes, vastag fehér hártyából H (169. ábra) van képezve, melynek mellső része a szem fehéreként a szemhéjak közt látható. A szemtekének ezen külső szilárd burka belsejében fekete, minthogy az a finom, majdnem egészen egymásba fonódott veres véredényektől képezett és fekete festanyaggal sűrűn befedett I edényhártya által takartatik. A szemteke átlátszó víztiszta folyadékkal telt. A kemény fehér hártyába elül egy, átlátszó porcanyagból képezett, gömbszerüen elődomborult A porchártya van illesztve. Helyzete és görbülete változatlan, minthogy szintén a szemteke szilárd külső falazatához tartozik. Közel a porchártya megett fekszik egy puha, rugalmas, lencseidomú, felette átlátszó test, a jéglencse, E, melynek mellső és hátsó felülete domború. Ez majdnem teljesen eltakartatik a barna, vagy kék D szivárványhártya által. Ott hol a szivárványhártya közepén a kerek nyilás, a pupilla van, a jéglencse közvetetlenül e

169. ábra.



hártya mellett fekszik; azonban oly átlátszó az, hogy közönséges világításnál abból mitsem látható, hanem csak a szemteke sötét hátterének tulajdon fekete színe mutatkozik. A jéglencse átlátszó, közös középponttal biró gömbökhöz hasonló rétegekből van képezve, és F-nél látható sugárlemezkék által körüskörül meg van rögzítve, mely lemezkék feszülése kisebbithető egy, belül a szemben lévő G izom által; ilyenkor a lencse két lapja, jelesen a mellső, jobban kidomborodik, mint volt a szem nyugvó állapotakor. A szivárványhártya és a kemény porchártya között a B ürben kevéssé sós folyadék van. A jéglencse erősebben törő anyagból áll, mint a két folyadék, mely közt elhelyezve van.

Azon ernyő, mely a szemben képződő képet felfogja, a látidegnek vékony hártyaszerü területe, a **recehártya**, mely a szemtekét takaró hártyák legbelsőbb rétegét képezi (K). A látideg hengerszerü fonal, és felette vékony idegrostokat juttat a szemtekéhez, melynek hátsó falán M-nél betér. A látidegnek rostai ezután betérési helyüktől, a recehártya mellső felületén minden irányban szétsugárzanak, és sajátságos képződményekben végződnek, melyek legszélső végei szabályosan egymásmellé rakott pálcikákból állanak. Miként kisérletileg kimutatható, e pálcikák képezik tulajdonképen a recehártyának fényérző rétegét; azaz azt, melyben egyedül képes a fény behatása idegingerületet kelteni.

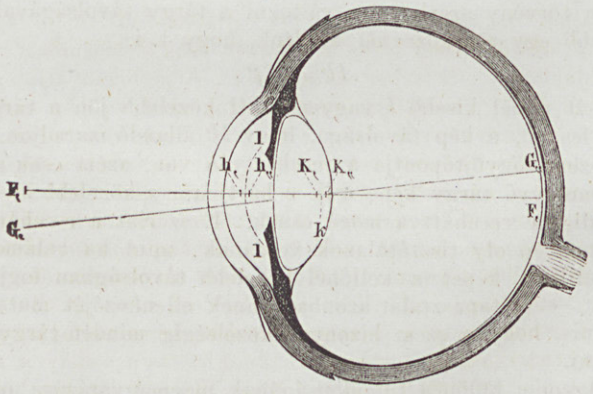
Van egy különös hely a recehártyán, ennek nem épen közép, hanem innen kevéssé a halánték felé eső táján, mely színe után

sárga foltnak neveztetik. E hely kevéssé megvastagodott. De közepén kis gödör van, hol a hártya felette vékony, minthogy állománya itt csak azon elemekre szoritkozik, melyek a tiszta látáshoz feltétlenül szükségesek. Ez a recehártya legérzékenyebb helye. A pálcikák, mint a végső fényérző elemek, itten vannak legtömöttebben összeszorítva.

2. **A fénysugarak útja a szemben.** — Egy távol fekvő ponttól a szemhez érő fénysugarak először a külső kemény hártya által töretnek meg, úgy, hogy 10^{mm}-nyire a recehártya mögött találkoznának. De utjokban a jéglencsével találkoznak, mely által jobban összegyűjtettnek úgy, hogy a világító pont képe már a recehártyán képződik.

A fénysugár útjának pontos meghatározására az egyes törőfelületek cardinalis pontjait, a fönt adott módszer szerint kell meghatároznunk, és ezekből azután az egész rendszer, vagyis a szem fő-, csomó-, és főgyüjtőpontjait határozhatjuk meg, melyek ismeretével a sugár útját igen egyszerü módon szerkeszthetjük meg. Helmholtz mérései alapján e pontok a 170. ábrában jelzett helyekre esnek: az első és második főpont h, $h_{,,}$, a csomópontok K, és $K_{,,}$, a főgyüjtőpontok pedig F és $F_{,}$-be esnek.

170. ábra.



Ebből látjuk, hogy a főpontok valamint a csomópontok igen közel esnek egymáshoz, azért nagy megközelítéssel a két-két pontot egy-egy ponttal helyettesíthetjük. Az így egyszerüsített szem alaprajzát Listing után a reducált szemnek nevezik. A reducált szemben a főpont $2{\cdot}3448^{mm}$-nyire esik a külső porchártyától, és a csomópont K $0{\cdot}4764^{mm}$-nyire a lencse második felületétől. A főgyüjtőpontok természetesen változatlanul megmaradnak.

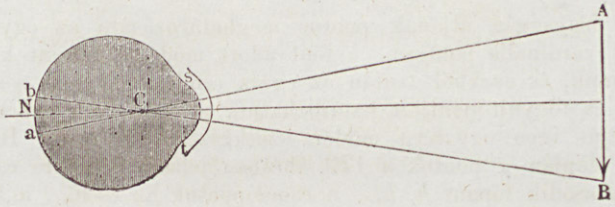
E szerint a csomópont felé irányított beeső sugarak töretlenül mennek a szembe, a miből látjuk, hogy a reducált szem hatása olyan, mint egy törő gömbfelületé, melynek középpontja a csomópont, és

melynek sugara a csomópont távolsága a főponttól. Tehát ll a k-ból kh sugárral leírt gömb ábrázolja azon egyszerü gömbfelületet, mely a szemet helyettesíti, ha e gömbfelület előtt levegő és mögötte víz van.

Valamely G, pont $G_{,,}$ képét megkapjuk, ha a G, K egyenest a recehártyáig meghosszabbítjuk, a hol e vonal a recehártyát metszi, ott van a pont képe. Ilyen vonalat a látás irányvonalának nevezünk, és azért a csomópont az irányvonalak találkozó helye.

Valamely AB tárgy képét a 171. ábrában jelzett, egyszerü módon szerkeszthetjük meg, a miből látjuk, hogy a recehártyán a tárgy kisebbített, megfordított képe keletkezik.

171. ábra.



3. **Accomodatio, rövid- és messzelátás.** — Minthogy a szem akkép működik, mint egy törő gömbfelület, azért a kép távolsága azon törvény szerint fog változni a tárgy távolságával, a mint azt fönnebb egy törőközegnél találtuk, hogy t. i.

$$ll' = ff'$$

Tehát minél kisebb l vagyis minél közelebb jön a tárgy, annál nagyobb lesz l', a kép távolsága, hogy ll' állandó maradjon. S minthogy a szem főgyüjtőpontja a recehártyán van, azért csak a végtelen távolságban lévő tárgy képe esik e hártyára, a közelebb lévő tárgyak képei pedig a recehártya mögé esnek. E szerint a recehártyán előállott képek ép oly tisztátalanok volnának, mint ha valamely lencse által előállított képet a kellőnél közelebb távolságban fogjuk fel az ernyővel. — A tapasztalat azonban ennek ellenkezőjét mutatja; tudjuk ugyanis, hogy a szem bizonyos közelségig minden tárgyat tisztán képes látni.

A szem e különös tulajdonságának megmagyarázása oly nehézséget okozott, hogy a legujabb időig a legeltérőbb módokon magyaráztatott meg. Hogy ez az egyes törőközegek különös tulajdonságának kifolyása nem lehet, hanem hogy a szem a különböző távolságoknak megfelelőleg megváltozik, vagyis e távolságokhoz alkalmazkodik, azt látjuk abból, hogy két, különböző távolságban lévő tárgyat a szem egyszerre tisztán nem láthat. Erről egyszerüen meggyőződünk az által, hogy ha valamely közel lévő tárgyra rögzítjük szemünket, úgy ezt tisztán látván, a mögötte távol lévő tárgyakat elmosódva látjuk; és megfordítva, ha az utóbbiakra nézünk mereven, úgy az első látszik elmosódva. Ha tehát a szem közel lévő tárgyakhoz alkalmaz-

kodik, úgy egyidejüleg távol lévő tárgyakat nem lát tisztán, és megfordítva.

Hogy a szem alkalmazkodása, accomodatiója miben áll, azt ujabb időben Cramer fedezte fel, azon tükör-képek megfigyelése által, melyek a jéglencse két felületén egy oldalt álló gyertyalángból képeztetnek. E képek helyzeteinek változása által kimutatta, hogy a közellátásnál a lencse mellső felülete jobban kidomborodott, mint a messzelátásnál. A lencse e változását a vele összeköttetésben lévő kis izmok, a sugárlemezkék eszközlik.

Minden szemnek meg van azon távolság minimuma, melyen túl közelítve a tárgyakat már tisztán nem láthatja. E távolságot a tiszta látás távolságának nevezzük. A rendes alkotással biró szemnél e távolság 200 egész 260^{mm}. Olyan szemet, melynél a tiszta látás távolsága ennél kisebb, rövidlátónak, olyat pedig, melynél e távolság nagyobb, messzelátó szemnek nevezünk.

A rövid- és messzelátás ennélfogva mindig az alkalmazkodás hiányaiban rejlenek, a mi abból is kitünik, hogy a szokás e hibákra nagy befolyással van. Ha a gyermekek az olvasás- és irásnál a papirt vagy könyvet igen közel tartják a szemhez, úgy e megeröltetett közellátás következtében a szem elveszti alkalmazkodási képességét távol lévő tárgyakra nézve és a szem idővel rövidlátó lesz. Innen származik a rövidlátók nagy része.

A szem e hibáit lencsék által ki lehet egyenlíteni. A rövidlátó szemnél ugyanis a távol lévő tárgyakból jövő sugarak a recehártya előtt egyesülnek, s azért, hogy a sugarak találkozó pontja távolabbra tétessék, a szem elé szoró-lencsét kell tartani. A messzelátó szemnél a sugarak a recehártya mögött egyesülnek, s azért e szem előtt gyüjtő-lencsét kell tartani, hogy a gyüjtő-pont előbbre hozassék. De e lencséket tartalmazó szemüvegek minden egyes esetben nagy gonddal választandók meg, ne hogy a szem eröltetett alkalmazkodása folytán megrontassék.

Szemünk alkalmazkodásának egy másik neme onnan ered, hogy nem az egész recehártyán állanak elő a látott tárgyak tiszta képei, hanem annak csak kis kiterjedésü sárga foltján; ez a láttérben csak oly kis területnek felel meg, mely mutató-ujjunk körme által elfedve látszik, ha kezünket magunktól lehetőleg eltávolítjuk. A recehártyán előállott képnek minden többi része annál kevésbbé élesen látszik, mentül inkább közelebb esik a hártya széléhez. E szerint a kép, melyet félszemmel nyerünk, oly rajzhoz hasonló, melyben a középső rész igen finoman és tisztán van kidolgozva, környezete ellenben csak felületesen körvonalozott.

E hiányt dúsan kipótolja szemünk mozgékonysága, mely megengedi a láttérnek minden egyes helyére, mely minket épen érdekel, gyorsan egymásután nézni. S bárha minden egyes pillanatban a láttérnek csak felette kis részét látjuk is élesen, látjuk azt mégis egyidejüleg összefüggésben környezetével, és látunk ez utóbbiból any-

nyit, mennyi elégséges, hogy minden feltünő tárgyra figyelmessé tétessünk; ha figyelmessé tétettünk, akkor azután megnézzük a tárgyat, vagyis szemünket akkép irányítjuk, hogy a tárgy képe az éles látás helyére essék; ezt nevezzük egyenes látásnak. Ellenben oldallagosnak, ha a recehártya oldalrészeivel nézünk. Ha a tárgyak igen kicsinyek, akkor azokat a recehártya oldal-részeivel egyáltalában fel nem ismerjük. Innen ered az, hogy magasra emelkedett léggömböt csak hosszabb keresés után találjuk meg ismét, habár szemünkkel igen nagy tért tekintünk át egyszerre: a léggömböt csak akkor pillantjuk meg, ha képe az éles látás helyére esik.

Annyira megszoktuk szemünket azon tárgyra rögziteni, mely bennünket érdekel, melyet tehát tisztán akarunk látni, hogy csak hosszú begyakorlás után vagyunk képesek figyelmünket oldallagos irányban látott tárgyra fordítani, a nélkül, hogy egyidejüleg szemünket feléje ne irányítsuk.

II. Az optikai eszközök.

1. **A lupe vagy az egyszerű góreső.** — A fennebbiből tudjuk, hogy olyan tárgyakat, melyek látszöge bizonyos határon alul van, nem láthatunk. S minthogy a látszög a tárgy nagyságától és annak a szemtől való távolságától függ, a test látszögét az által nagyíthatjuk, ha azt a szemhez közelítjük.

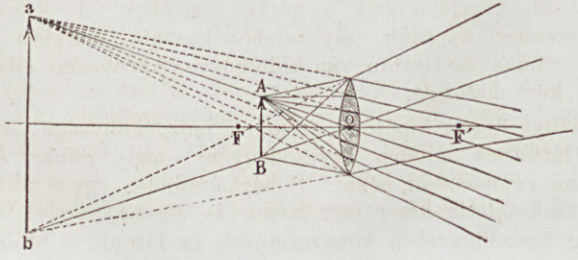
De a mint a tárgy nagyon is közeledik a szemhez, ennek alkalmazkodó képessége is határát lelvén, a tárgy egy pontjából kiinduló sugarak nem egyesíttetnek a recehártyán, miáltal a tárgy nem látszik tisztán. A sugarak egyesítését a recehártyán és ez által a tárgy tiszta látását egy, a szem elé tartott gyüjtőlencse által lehet eszközölni.

Ha a lencsét akkép tartjuk, hogy a tárgytól való távolsága kisebb, mint gyüjtő-távolsága, úgy egyenesen álló virtualis kép képződik, melynek l' távolsága a lencse gyüjtőpontjából adva van ezen egyenlet által:

$$l' = \frac{\varphi^0}{l} \quad \ldots\ldots \alpha)$$

A lencsét akkép kell tartani, hogy az ab kép (172. ábra) a tiszta látás távolságában legyen a szemtől.

172 ábra.



Ha a szemet a lencséhez lehetőleg közel tartjuk, úgy felvehetjük, hogy az ab képet ugyanazon szög alatt látjuk, mint az AB tárgyat. A nagyítást tehát megkapjuk, ha azon látszöget, mely alatt AB most mutatkozik, azzal hasonlítjuk össze, mely alatt akkor mutatkoznék, ha a tiszta látás távolságában volna, tehát, ha az ab kép helyén volna. Minthogy pedig a látszög a távolsággal fordított arányban van, azért, ha ab távolságát o-tól d-vel jelöljük, AB távolságát pedig x-el, úgy a nagyítás

$$N = \frac{d}{x}$$

hol d a tiszta látás távolsága.

Az α) egyenletből d és x értéke közt egy általános összefüggést nyerünk; ugyanis l a tárgy távolsága F'-től egyenlő $\varphi - x$; l' pedig, a kép távolsága F'-től egyenlő $\varphi + d$; tehát

$$\varphi + d = \frac{\varphi^2}{\varphi - x} \quad \text{és ebből}$$

$$x = \frac{\varphi d}{\varphi + d}$$

x értékét a nagyítás képletébe helyettesítve lesz

$$N = \frac{\varphi + d}{\varphi}$$

Vagyis a nagyítást megkapjuk, ha a tiszta látás távolságának és a lencse gyüjtőtávolságának összegét az utóbbival osztjuk. Ha a lencse gyüjtőtávolsága például 5 centiméter, és a tiszta látás távolságát 25 centiméterre teszszük, úgy a nagyítás

$$\frac{25 + 5}{5} = 6.$$

Látjuk, hogy a lencse nagyítása annál nagyobb, minél kisebb gyüjtőtávolsága; a gyüjtőtávolság pedig annál kisebb, minél nagyobb a lencse felületeinek hajlása. Ez által a lencse használata korlátozva van, mert ha nagy mértékben nagyít, úgy a gömbalak miatti eltérés akkora lesz, hogy a képek már kevésbbé tiszták. E hibát némileg el lehet kerülni két vagy több lencse alkalmazása által. De ha tetemes nagyítást kivánunk, összetett mikroskopot kell alkalmaznunk.

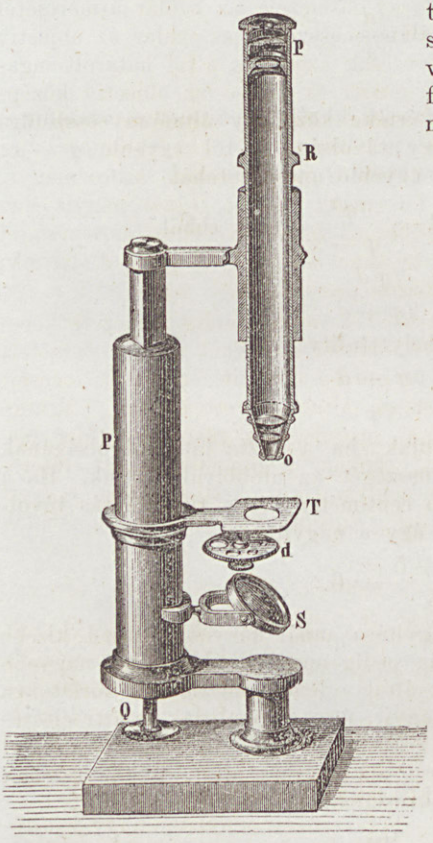
2. Az összetett górcső. — Minden összetett górcső a következő elveken alapszik :

1) A megvizsgálandó tárgy igen közel hozatik egy gyüjtőlencséhez, mely igen kis gyüjtőtávolsággal bír. E lencse, mely egyszerű vagy összetett lehet, objectiv lencsének neveztetik.

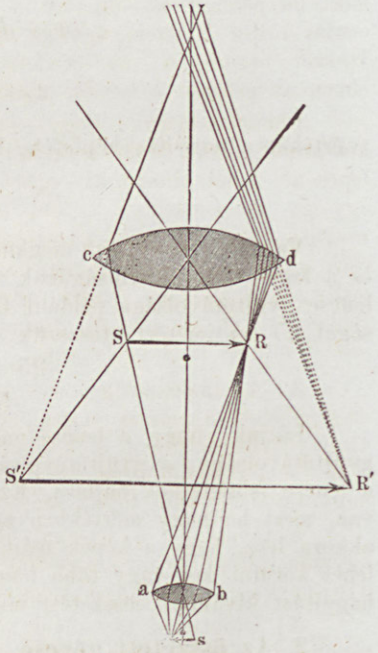
2) Az objectiv lencse által előállított kép domború lencsén át szemléltetik, mely itt a lupe szerepét játszsza. E második lencse szintén lehet egyszerü vagy összetett, és szemüvegnek vagy oculárnak neveztetik.

Az összetett mikroskop tehát lényegében két lencséből áll, melyek egy csőbe vannak foglalva, mint a 173. ábrában látható; az objectiv alul *o*-nál és az oculár fönt *p*-nél van. A cső prismatikus oszlopra van erősítve, mely a P oszlopban a Q csavar segítségével föl- letolható. A cső alatt T-nél átlyukasztott fémlap van az oszlophoz erősítve, melyre a két üveglap közé foglalt megvizsgálandó tárgy tétetik. Ez alatt van egy kis homorú tükör, mely akkép állittatik az ablak felé, hogy a szétszórt nappali fényt a tárgyra veti. Gyakran T alatt még egy forgatható fémlap van alkalmazva *d*-nél, mely különböző

173. ábra.



174. ábra.



nagyságú nyilásokkal van ellátva, hogy a tárgyra eső fényt korlátozni lehessen.

A 174. ábra előtünteti a fénysugarak útját a mikroskopban. Az *sr* kis tárgy igen közel van az *ab* objectiv gyüjtőpontjához, e lencse az RS megfordított és nagyobbított képet származtatja, mely kép a *cd* oculáron át szemlélve R′S′-nél mutatkozik. Az *r* pontból kiinduló sugarak akkép hagyják el a *cd* oculárt, mint ha R′ pontból indultak volna ki.

Ha az RS képet a *cd* oculáron át nézzük, úgy a körülmények nem tökéletesen azonosak avval, mint ha RS-ben lévő tárgyat néznénk, mert ilyen tárgy pontjai minden irányban lövelnének sugarakat; R-ből tehát a lencse közepére valamint *c* végére esnének sugarak. Jelen esetben azonban R-ből csak szűk sugárnyaláb esik az oculár jobb oldalára. Hogy ha tehát a *cd* lencse széle be volna fedve, úgy, hogy csak a középponthoz közel eső sugarak mehetnének rajta keresztül, úgy R a lencse mögött nem volna látható.

Ebből kiderül, hogy a górcső látmezeje az oculár átmérőjétől függ; méretik pedig azon szög által, mely alatt az oculár az objectiv közepétől látszik, mert az oculárt csak azon kúp által határolt sugarak érhetik, melynek alapja az oculár és csúcsa az objectiv középpontja. Tehát a górcső látmezeje annál kisebb, minél távolabb van az oculár az objectivtől.

A górcső nagyítása a két lencse nagyításának szorozmánya, mert ha például az objectiv a hosszúság szerint 5-ször nagyít, az oculár pedig 10-szer, úgy az utóbbi az 5-ször nagyított hosszúságot 10-szer nagyítván, az eredeti hossznál 50-szer nagyobbat látunk; ebben az esetben a terület 2500-szor nagyíttatik.

Fönnebb láttuk, hogy egyszerű lencsék mindig szinezett képeket adnak, mely hibát csak két különböző anyagból készült összetett lencsénél lehet elhárítani, azért a górcső objectiv és oculár lencséje egy-egy achromatikus kettős lencse által helyettesíttetik. Miután továbbá csak kis gyüjtőtávolsággal, vagyis erős görbülettel biró lencsék nagyítanak nagy mértékben, ezeknél a gömbalak miatti eltérés pedig igen tetemes, azért egy achromatikus kettős lencse helyett többet szokás alkalmazni, hogy kis gyüjtőtávolság mellett a gömbalak miatti eltérés csekély legyen.

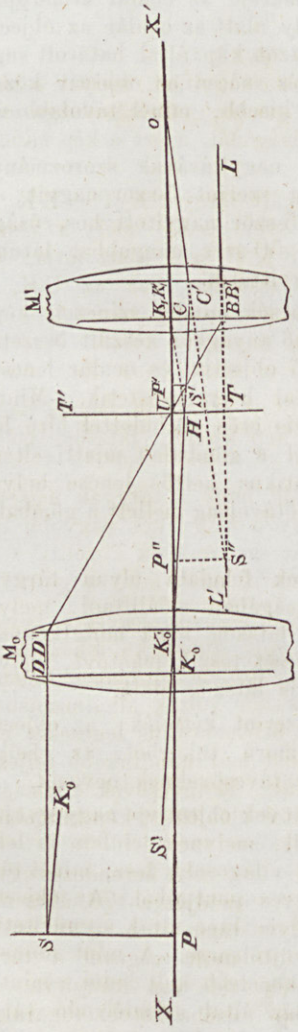
3. **A távcsövek.** — A górcsövek feladata olyan tárgyak nagyobbított képeit a tiszta látás távolságában előállítani, melyek kicsinységüknél fogva a kellőnél kisebb látszög alatt mutatkoznak; a távcsövek pedig olyan tárgyak szemlélését teszik lehetővé, melyek nagy távolságuknál fogva mutatkoznak kis látszög alatt.

A távcsövek a használt objectiv szerint kétfélék; az objectiv ugyanis állhat gyüjtőlencséből vagy homorú tükörből, az elsőket dioptrikai, az utóbbiakat katoptrikai távcsöveknek nevezik.

A) Dioptrikai távcsövek. — E távcsövek objectivje nagy gyüjtőtávolságú achromatikus gyüjtőlencséből áll, melynek felülete is lehetőleg nagy, mert az előállított kép annál világosabb lesz, minél több fénysugár hatol át a lencsén a tárgy egyes pontjaiból. Az objectiv által előállított kép egyszerű górcső vagyis lupe által szemléltetik. Az oculár tehát szintén achromatikus gyüjtőlencse. A mint fönnebb láttuk, a lupenak a tárgyhoz valamivel közelebb kell lenni, mint a mekkora saját gyüjtőtávolsága. Az oculár által szemlélendő tárgy pedig az objectiv által előállított kép, mely kép az objectivtől majdnem saját gyüjtőtávolságában fekszik; minélfogva az objectiv és

oculár közti távolság igen közel akkora, mint a két lencse gyüjtő-távolságának összege.

Az oculár által előállított képnek a tiszta látás távolságában kell lennie. Azért, hogy a távcső különböző szemek által használható legyen, és hogy különböző távolságú tárgyakat tisztán lehessen vele látni, szükséges, hogy az oculárt az objectivhez kevéssé közelíteni vagy tőle eltávolítani lehessen. Minél közelebbek a szemlélendő tárgyak, annál távolabb van a kép az objectivtől, tehát az oculárnak is annál távolabbnak kell lennie.



175. ábra.

Az ily távcső által nyujtott előny, illetőleg nagyítás meghatározására legyen a 175. ábrában M_0 az objectiv, M' az oculár és S P a nagy távolságban lévő tárgy.

A mint láttuk M_0 második főgyűjtőpontja összeesik M' első főgyűjtőpontjával, tehát T T' mindkét lencse gyűjtősíkja. Ha úgy mint fönnebb e-vel jelöljük a K_0' K_1 távolságot, úgy

$$e = K_0'U + K_1U = \varphi_0 + \varphi_1$$ a miből

$$\varphi_0 + \varphi_1 - e = o$$

Ebből következik, hogy e rendszerben a K_0 K, K_1' K' és φ értékek végtelen nagyok, mert ezek olyan törtek által vannak kifejezve, melyek nevezői $\varphi_0 + \varphi_1 - e$. Igy tehát a tárgy és kép közt talált összefüggést ez esetre nem alkalmazhatjuk, mert e kifejezés q-t tartalmaz.

Ez utóbbi meghatározására szerkeszszük meg az S P tárgy képét. A főtengelylyel párhuzamos S D sugár D' U irányban töretik meg. S K_0 sugár pedig önnönmagával párhuzamosan K_0' ponton megy át. Azon S' pont, melyben e két megtört sugár egymást metszi, lesz S-nek képe; és így S' P' az objectiv által előállított kép.

Innen a sugarak az oculár felé terjednek; az S' B sugár, mely a főgyűjtőpontból kiindul, B' L irányban a főtengelylyel párhuzamosan töretik meg; S' C sugár pedig, mely a T T' gyűjtősíkot H-ban átdöfi, K_1 H-val párhuzamosan C' o irányban fog ha-

ladni. E két sugár meghosszabbításában S''-ben találkozik, tehát S''P'' SP-nek virtualis képe.

E szerkesztésből következik, hogy a kép mindig a főtengely és a vele párhuzamos LL' egyenes közt van. De ezen LL' egyenes távolsága a főtengelytől nem függ SP helyzetétől. Ebből látjuk, hogy az SP tárgy képe S''P'' mindig ugyanakkora marad, bármily távol is legyen a tárgy az objectivtől. Továbbá $S''P'' = BK_1$, $SP = D'K_0'$ és a $D'UK_0'$, BUK_1 hasonló háromszögekből következik,

hogy $$\frac{S''P''}{SP} = \frac{K_1U}{K_0'U} = \frac{\varphi_1}{\varphi_0}$$

E kifejezés adja meg azon állandó hossz-nagyítást, melyet e távcsővel elérhetünk. Minthogy pedig φ_1 az oculár gyüjtőtávolsága mindig kisebb φ_0-nál, az objectiv gyűjtőtávolságánál, azért a kép mindig kisebb a tárgynál.

Azonban K_0-ból szabad szemmel vizsgált tárgy $SK_0P = HK_0'U$ látszög alatt mutatkozik. Az O-nál lévő szem pedig, mely a készüléken át nézi a tárgyat, azt $S''OP'' = HK_1U$ szög alatt látja. De e két szög $HK_0'U$ és HK_1U fordított arányban van az UK_1 és UK_0' távolságokkal, vagyis

$$\frac{HK_1U}{HK_0'U} = \frac{\varphi_0}{\varphi_1}$$

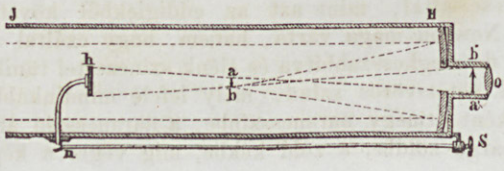
A kép és tárgy látszögei tehát fordított arányban vannak nagyságaikkal; s így dacára annak, hogy a kép kisebb, látszöge mégis nagyobb a tárgy látszögénél.

A távcső előnye tehát nem abban áll, hogy a tárgyak nagyobbított képeit nyújtja, hanem abban, hogy a tárgyakat nagyobb látszög alatt tünteti elő, vagyis hogy azokat szemünkhöz közelíti.

A távcső látmezeje épen úgy határoztatik meg, mint a górcső-é.

B) **Katoprikai távcsövek.** — E távcsövek, melyek teleskopoknak is neveztetnek, mint említve volt, abban különböznek az előbbiektől, hogy objectiv gyanánt nem gyüjtőlencse, hanem homorú tükör van alkalmazva. Ezek különösen akkor voltak alkalmazásban, a mikor még nagy, tiszta és különösen achromatikus lencséket előállítani képesek nem voltak. Azonban most már mindinkább teljesen kiszoríttatnak a dioptrikai távcsövek által. E távcsövek egymástól csak abban különböznek, hogy a tükör által előállított kép különböző módon szemléltetik az oculár által.

176. ábra.



A berendezés egyik módját a 176. ábra mutatja. A JH cső J nyilt végével a tárgy felé van irányítva. A csőbe hatoló sugarak a H homorú tükörre esnek, miáltal ab-nél előáll a

tárgy kisebbített képe. Ott, hol az oculárcső be van illesztve, a tükör kerek nyilással bír. Az *o* oculár átellenében egy másik kis homorú tükör *h* van alkalmazva, mely az *ab* képből egy második képet *a'b'*-t az oculár elé vetít. E kép az oculáron át szemléltetik.

A szerint a mint a vizsgálandó tárgy közelebb vagy távolabb van, a tükröt az oculártól eltávolítani vagy hozzá közelíteni kell, hogy a kép mindig ugyanazon helyen tünjék elő. Ez az *sn* csavarrúddal eszközölhető.

HARMADIK SZAKASZ.

A fény különböző nemei.

ELSŐ FEJEZET.

A fény színéről.

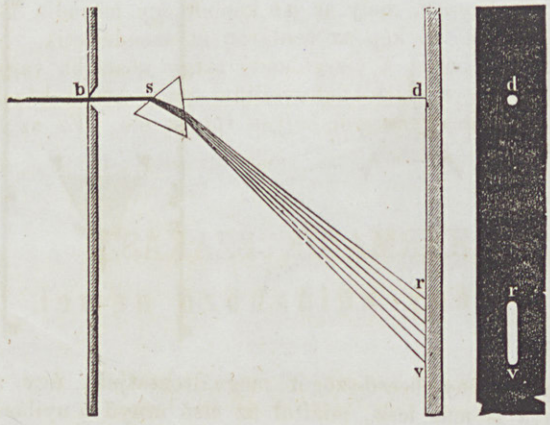
A természetben előforduló színváltozások legfeltünőbbje a szivárvány. Azért e fenséges természeti tünemény keletkezésének magyarázata volt a színekről való elmélkedés indító oka. Már Aristoteles igyekezett a szivárvány keletkezését megmagyarázni, természetesen önkényt felvett alapelvekből. E primitiv magyarázgatások a tudományok isméti felkarolása idejében sok variátiókban kerültek ismét napfényre, mig Descartes teljesen szakítván a hagyományozott elvekkel, e tüneménynek a mai felfogáshoz igen közel járó alapos magyarázatát adta.

A mai felfogás Newton vizsgálataiból ered, a ki e tünemény alapelvének megállapitásával, a természettant új tudományággal gazdagitotta. Az alapelv az, hogy a különböző színnel biró fény különböző törőképességgel bír. — A következőkben Newton alapkisérleteit adjuk.

I. A szinkép.

1. Newton egy elsőtétített szoba ablakán alkalmazott *b* (177. ábra) keskeny résen át bocsátotta a nap fényét. E keskeny sugárnyaláb a réssel szemben felállított *d* ernyőn a nap képét (*d*) állitotta elő. E sugarak útjába azután prismát állitott, és azon nevezetes tüneményt tapasztalta, hogy a nap *d* képe nem tolatik el egyszerűen a prisma törése által, mint azt az eddigiekből következtethetnők, és a mint Newton maga várta, hanem, hogy ezáltal a nap képe eltolva ugyan, de meghosszabbitva és élénk színezettel tünik elő *rv*-nél. A kép *r*-nél sötét-vörös színü, mely lefelé mindinkább világosabb lesz és fokonként átmegy narancsszínbe; a narancsszín átmegy tiszta sárgába, a sárga zöldbe, a zöld kékbe, mig végre a kép

177. ábra.



v-nél violaszinü. E képet a nap színképének, spectrumának nevezzük. E színképben a színek oly lassan mennek át egymásba, hogy végtelen sok színt lehet rajta megkülönböztetni, s mivel mind megnevezni nem lehet, hét főszínre osztattak fel, melyek *r*-től *v*-felé ezen rendben következnek egymásra: vörös, narancs, sárga, zöld, kék, indigo, viola.

Newton e tüneményt akkép magyarázta, hogy a fehér fény valamennyi szín összegéből áll; és azáltal, hogy a különböző színü sugarak különbözőkép töretnek meg, a fehér fény a törés által elemeire szétbontatik.

Ezen elmélet bebizonyitására meg kellett mutatnia, 1) hogy a különböző színü sugarak ugyanazon törő test által csakugyan különböző szöggel hajlíttatnak el; és 2) hogy a színek egyesítése által ismét előáll a fehér fény.

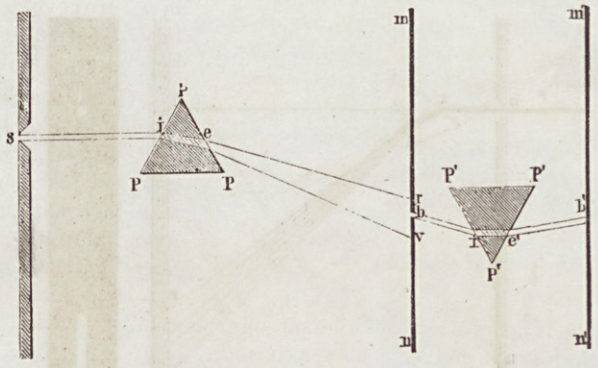
2. A színek különböző elhajlítása. — Hogy a különböző színek különböző szöggel hajlíttatnak el, különben egyenlő körülményeknél, azt Newton a következő kisérlettel kétségen kivül helyezte.

Az S résen párhuzamosan beeső *Si* sugarak (178. ábra) a PPP prismán át bocsáttatnak. Az *mn* ernyő, mely az igy származott színképet felfogja, egy kis kerek nyilással bir. E nyiláson át *bi* irányban hatolnak oly színü sugarak, melyek épen a *b* nyilásra esnek. Ha e sugarak irányában a nyiláson áttekintünk, úgy a nap fényes képe az illető színben látszik. Ha a *bi'* sugarakat egy másik P'P'P' prismára bocsátjuk, úgy az ez által eltéríttetik, de az *m'n'* ernyőre felfogva, már nem ad több színü fényszalagot, hanem egyszerü foltot képez, melynek színe a P'P'P' prismára eső fény szinével azonos.

Ebből mindenekelőtt következik, hogy a prisma által egyszínü sugarak nem szoratnak szét, mint a fehér fény sugarai.

Ha a PPP prismát törőélével párhuzamos tengely körül for-

178. ábra.

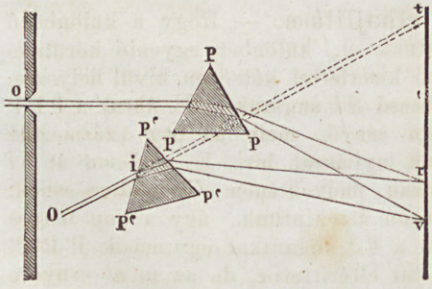


gatjuk és így a fény beeső-szögét megváltoztatjuk, úgy a megtört sugarak iránya is más lesz, miáltal az első ernyő *b* nyilásán a színkép különböző szineit vezetjük el. Ha ez alatt a P'P'P' prismát változatlanul meghagyjuk, úgy egymásután más-más színü sugarak érik azt *bi* irányban, tehát ugyanazon törőszög alatt. Ha a második ernyőn megjegyezzük azon helyet, melyen a vörös folt megjelenik, ha a *b* nyiláson épen vörös szinü sugarak hatolnak át, úgy azt találjuk (ha a második prisma törő-éle alul van), hogy a viola sugarak jobban hajlíttatnak el, mint a vörösek, hogy t. i. a viola folt magasabb helyen képződik, mint a vörös.

E kisérletből tehát látjuk, hogy a különböző színü sugarak, különböző szögekkel hajlíttatnak el.

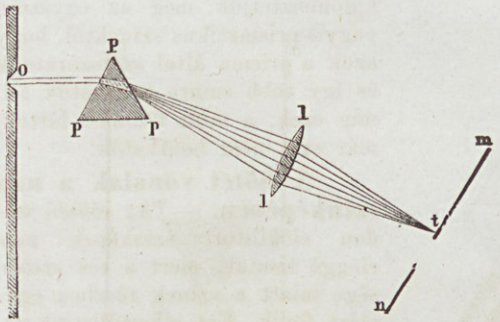
3. **Fehér fény előállítása a színek összetétele által.** — Ha a PPP (179. ábra) prisma által az előbbi módon színképet állítunk elő, és egy másik, az elsővel egyenlő prismát, P'P'P'-et, akkép állítunk, hogy O-ból jövő *Oi* sugárnyaláb szintén *rv*-nél képezne színképet; úgy az első prisma által tényleg előállított színkép sugarai a másik prisma által, a reciprocitás ismeretes törvénye szerint akkép hajlíttatnak el, hogy *iO* irányban hagyják el a P'P'P' prismát. Az O-nál lévő szem már most nem látja a színképet, hanem *Oi* irányában *t*-nél a nap fehérfényű képét. Ebből tehát következik, hogy a színkép szineinek egyesitése által ismét fehér fény áll elő.

179. ábra.



A színkép szineit még akkép is egyesíthetjük, hogy a PPP (180. ábra) prismából jövő szines sugarakat lencsével összegyűjtjük,

180. ábra.



és ha a gyüjtőpont távolságában a sugarakat az *mn* ernyővel felfogjuk, úgy *t*-nél a nap fehér képe mutatkozik.

Hogy a színek együttes hatása fehér fényt szül, még egy más módon is mutathatjuk meg, mely a már többször említett tényen alapszik, hogy a fény hatása a szemre bizonyos ideig tart, úgy hogy valamely pontot, mely gyorsan egymásután ugyanazon helyzetet foglalja el, folytonosan egy helyen látunk.

Ha valamely köralakú lapot hét részre osztunk, és ezeket a prisma színeihez lehetőleg hasonló színekkel befestjük, úgy a korong gyors forgása alatt már nem látjuk az egyes színeket, hanem azoknak együttes hatása a szemre majdnem fehér színt ad. A szín egészen fehér volna, ha ily módon tényleg a spectrum színeit egyesíthetnők. Ennek elérésére Münchow egy prismát hozott gyors forgásba, miáltal a falra vetített színkép szinei gyorsan felváltják egymást; ez által csakugyan tiszta fehér szalag áll elő, mely csak szélein van kevéssé színezve.

4. **Complementär színek.** — Minthogy valamennyi egyszerü szín, a színkép által adott viszonyban egyesítve, fehéret ad, azért, ha az egyesített fényből egyes színek hiányzanak, nem nyerünk fehéret, hanem a hiányzó színek szerint különböző színeket. Ha például a fehér fényből a vörös, narancs és sárgán kivül a többit egyesítjük, úgy két színt nyerünk, mely azonban a színkép kék színétől különbözik. Ha a visszatartott három színt külön egyesítjük, úgy narancs színt nyerünk. Ha tehát ezen narancsszínt a fönt nyert kék színnel egyesítjük, fehéret nyerünk. Ilyen két színt, melynek egyesítése fehéret ad, complementär színeknek nevezünk.

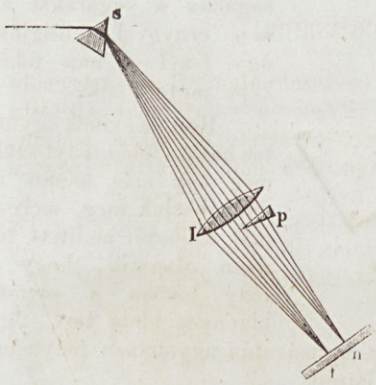
A complementär színeket a következő módon állíthatjuk elő.

Ha a prismával szétszórt sugarakat lencsével összegyűjtjük és a lencse elé egy, kis törőszöggel biró *p* prismát állítunk (181. ábra), úgy e prismára eső sugarak *n*-nél gyűlnek össze, ezáltal a kép *n*-nél valamint *f*-nél színezve van, mely két szín a fönnebbi értelmezés szerint complementär szín.

Ha a *p* prisma elég kicsiny, úgy e kisérletet a legkülönbözőbb módon lehet változtatni. Ily módon találjuk, hogy a complementär színek e három csoportot képezik :

vörös	narancs	sárga
zöld	kék	viola

181. ábra.



A kevert színeket az által különböztetjük meg az egyszerű vagyis prismatikus színektől, hogy azok a prisma által szétszóratnak és így több színre bonthatók fel, mig ezek, a mint fönnebb láttuk, már szét nem bonthatók.

5. Sötét vonalak a nap színképében. — Az előbbi módon előállított színképek nem eléggé tiszták, mert a rés szélessége miatt a színek részben egymást födik. Ezt elkerülhetjük azáltal, hogy két, egymástól bizonyos távolságban felállított résen bocsátjuk át a nap fényét; de ekkor a színkép homályos. Célszerűbb közvetetlenül a prisma mögé egy, körülbelül 1 méter gyüjtőtávolságú lencsét állítani, mely az egynemü sugarakat egy helyre gyüjti össze.

Ha az így előállított színképet figyelemmel vizsgáljuk, úgy azt találjuk, hogy a színkép kiterjedésére merőleges fekete vonalak szakítják meg a színeket. E különböző szélességü vonalak a színkép egész hoszszában fordulnak elő.

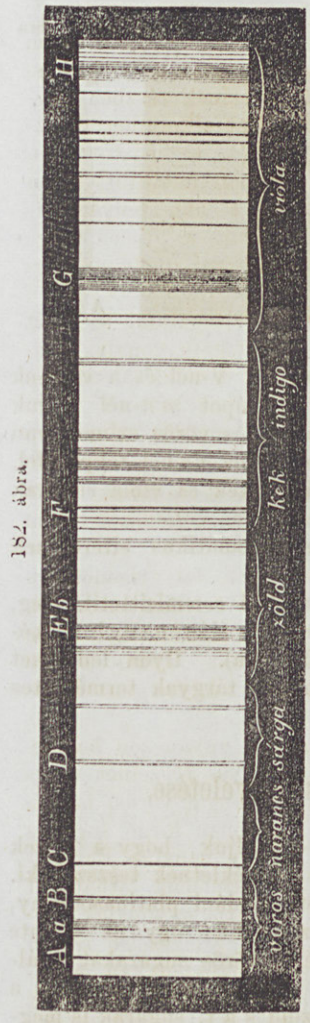
E vonalak jellemző tulajdonsága az, hogy mindig a színkép ugyanazon helyén fordulnak elő, tehát relativ fekvéseiket megtartják, bármily módon is állíttatik elő a nap színképe. E vonalak tehát mutatják, hogy a nap fényében nincs meg valamennyi különböző törésü sugár, hanem, hogy némelyek belőle hiányzanak.

E sötét vonalakat először Wollaston fedezte fel; tizenöt évvel később Fraunhofer ugyan e vonalakat önállóan ismét felfedezte, és nagy jelentőségüket felismervén, távcsővel vizsgálta őket. Mig Wollaston szabad szemmel hetet vagy nyolcat talált, Fraunhofer a távcső segítségével több mint 600-at számlált meg; jelenleg az ismeretes vonalak száma több ezerre megy.

Miután e vonalak a nap színképében mindig ugyanazon helyzetet foglalják el, igen alkalmas jelek a színkép egyes részeinek megjelölésére. Mert nem elég tudnunk, hogy valamely sugár vörös, hanem pontosabb vizsgálatoknál tudnunk kell, hogy a szóban forgó sugár a vörös szín melyik részén van. Fraunhofer, kiről e vonalak Fraunhofer-féle vonalaknak nevezetnek, a szabad szemmel láthatókat az ABC első betűivel jelölte. A 182. ábra mutatja e vonalak fekvéseit. Az első három A, B, C, a vörösben van. A a legszélső részen és C a narancs mellett; D a színkép legfényesebb részén van, a narancs és sárga közt; E a zöldben, F a zöld és kék határán; G az indigo és viola közt és H a legsötétebb violában, mely csak tökéletesen elsötétített szobában látható. Ha e vonalakat a távcsővel vizsgáljuk, úgy azt találjuk, hogy mindegyikük számos keskeny vonalakból áll.

II. Az achromatismus.

Newton kisérleteinél a színkép hoszszát mindig 5-ször nagyobbnak találta mint szélességét, azért egyenesen valótlannak állitotta némelyeknek, kik kisérleteit ismételték, e méretektől eltérő adatait.



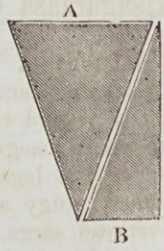
182. ábra.

Newton nem gondolt arra, hogy a különböző üvegek szóróképessége változhat, ha a törőképesség nem változik. Ez által azon téves állitásra lőn vezetve, hogy fénytörés szorás nélkül nem létezhet.

Euler figyelmeztett először arra, hogy fénytörés szorás nélkül különböző közegek egyesítése által előállitható. Elméletileg megkeresvén az ehhez megkivántató feltételeket, azt találta, hogy a különböző közegeknek, egyenlő törőképesség mellett, különböző szóróképességgel kell bírni. Dollond 1758-ban találta, hogy ez csakugyan lehetséges, mert üveg- és viz-prismákat akkép volt képes egyesiteni, hogy a fény meg ne töressék, és a kép mégis színes volt. Ez által be volt bizonyitva, hogy egyenlő törés mellett különböző szórás állhat be. Igy azután Euler, Clairant és d'Alambert a legnagyobb pontossággal számitották ki azon föltételeket, melyek mellett színtelen azaz achromatikus prismákat és lencséket nyerhetünk.

Két prismát A-t és B-t (183. ábra) akkép kell egyesiteni, hogy törőszögei ellenkező irányban legyenek; ekkor az egyik a másik hatását teljesen megsemmisiti, ha külön-külön egyenlő széles színképeket adnak. Ha a szóró képesség arányos volna a törőképességgel, mint azt Newton hitte, úgy ilyen két prisma eltéritést sem hozhatna létre. De miután a szóróképesség a törőképességtől különböző, — igy például a flint-üveg szóróképessége sokkal nagyobb, mint a Crownüvegé, mig törőképességük közt csak kis különbség van — azért két, ilyen különböző üvegből készült prisma a fönnebbi módon össze-

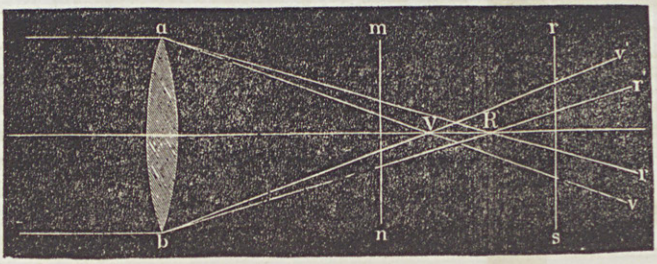
183. ábra.



állítva, a fehér fényt eltérítheti, anélkül hogy színezett képet képeznének. Ilyen összetett prismát achromatikus prismának nevezünk.

A lencsék is színes szegélyzetű képeket adnak. Minden lencse ugyanis a különböző sugarakra különböző gyüjtőponttal bír. Az erősebben megtört violasugarak gyüjtőpontja a lencséhez közelebb fekszik, mint a kevésbbé erősen megtört vörös sugarak gyüjtőpontja. Ha tehát valamely *a b* gyüjtőlencsére (184. ábra) a főtengelylyel párhuza-

184. ábra.



185. ábra



mosan fehér sugarak esnek, úgy a viola sugarak V-nél és a vörösek R-nél egyesülnek. Ha az így származott fénykúpot *m n*-nél fogjuk fel, úgy megvilágított kört látunk, mely sárga és vörös színnel van szegélyezve; a kör ellenben kék szegélyzetű, ha *r s*-nél fogjuk fel. Mert V előtt a vörös és sárga, R után pedig a kék és viola sugarak vannak a kúp szélén.

Az innen származó eltérést a lencse chromatikus eltérésének nevezzük.

A lencséknél a chromatikus eltérés az által semmisíttetik meg, hogy crownüvegből készült gyüjtőlencse, flintüvegből készült szóró-lencsével egyesíttetik (185. ábra). Ilyen lencséket kell az optikai eszközöknél használni, hogy a tárgyak természetes színeikben mutatkozzanak.

III. A fény kisugárzása és elnyeletése.

1. **A szilárd testek színképei.** — Tudjuk, hogy a testek csak akkor világítanak, ha bizonyos magas mérsékletnek teszszük ki. Ha az izzó mérsékletig hevített szilárd test, például platinasodrony, által származott fényt a prismával megvizsgálunk, úgy az eleinte vörösen izzó fém színképében csak a legszélső vörös sugarakat találjuk. Ha a mérsékletet növesztjük, úgy az izzás élénkebb lesz, és a színképben a vörös után következő sárga, zöld s a t. sugarak is megjelennek, mig végre, ha a test fehér izzásban van, a színkép teljessé válik. Ugyan e tüneményt, ugyanily sorrendben mutatja minden szilárd test.

Az így nyert színképek egészen hasonlók a nap színképéhez, de gondosabb vizsgálatnál lényeges különbséget találunk e kettő közt: a szilárd test színképében ugyanis nincsenek meg a fekete haránt vonalak; e színképek folytonosak.

2. **A gázok színképei.** — Az égő gázok színképeit vizsgálva, azonnal meglepő különbséget találunk ezek és a szilárd testek színképei között. Míg a szilárd testek színképei tökéletesen folytonosak, a gázokéi csak egyes világos vonalakból állanak, melyek sötét szalagok által vannak egymástól elválasztva; a világos vonalak a színkép azon részén jelennek meg, mely színüknek megfelel.

Valamely gáz fénye tehát csak bizonyos színű sugarakat tartalmaz; némely gázok többet, mások kevesebbet.

Herschel 1822-ben kimondotta azon fontos törvényt, hogy minden testnek, izzó gázalakjában, saját világos vonalak felelnek meg a színképben, mely vonalak mindenkor a színkép ugyanazon helyén megjelenvén, a testet jellemzik.

De csak Bunsen és Kirchhoff óta (jelenleg a heidelbergi egyetem tanárai) vált a színkép a vegyelemzés hatalmas eszközévé, az által, hogy kimutatták, hogy ugyanazon fém különböző vegyületekben ugyanazon színképet adja; s különben egyenlő körülmények közt azon vegyület ad világosabb színképet, mely könnyebben párolog. E tudósok továbbá megmutatták, hogy a láng mérséklete, melyben az illető fémvegyületek elpárologtatnak, a világos vonalak helyzeteire nincs befolyással. Csak a vonalak fénye növekedik a láng mérsékletével, és ez által lehetséges, hogy magasabb mérsékletnél oly vonalak lesznek láthatók, mely alacsonyabb mérsékletnél még hiányoztak; de az egyszer megjelent vonalak helyzeteiket mindig megtartják.

Ha natriumsót, például konyhasót, színtelen lángban elpárologtatunk, úgy a színképben egy keskeny, élesen határolt, fényes sárga vonalat találunk, mely a D Fraunhofer-féle vonallal összeesik. (186. ábra.) E vonal, valamint a Fraunhofer-féle D vonal nagy nagyításnál kettős vonalnak látszik. A színkép többi része sötét.

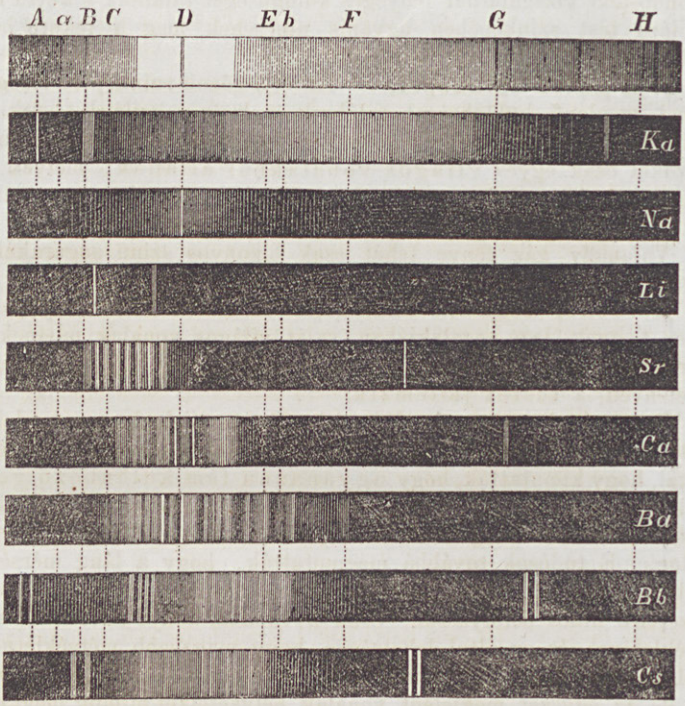
Kálisó, például salétrom, színképét két éles vonal jellemzi, melyek egyike a szélső vörösben van és másika az indigó és viola között.

Egy lithiumsó által vörösre festet láng színképe két vonalból áll, egy vörös és egy narancs színüből.

Az ábrában láthatók továbbá a strontian, calcium, barium, rubidium és caesium színképei, melyben a vonalak színei helyzetei által vannak meghatározva.

E világos vonalak megjelenése a színképben bizonyos jelei az illető fém jelenlétének, úgy, hogy általuk biztosabban és gyorsabban lehet valamely fém igen kis mennyiségét föllelni, mint bármily más chemiai eszközzel. Sőt Bunsen-nak e módon sikerült két új fémet felfedezni, a rubidiumot és caesiumot. Azóta Crookes egy feltünő zöld vonal által figyelmeztetve, felfedezte az ólomhoz hasonló thalliumot. Hasonló módon Reich és Richter egy, addig ismeretlen kék vonal fellépése által felfedezték az ezüstfehér indiumot.

186. ábra.



Olyan láng, mely fényét fehér izzó szénrészecskékből nyeri, folytonos színképet ad; ha azonban izzó gázokat is tartalmaz, úgy a színképben egyes világos vonalak kitünnek.

3. **A fény absorbtiója.** — Ha a fény valamely testhez ér, úgy ez vagy visszaveri, vagy átbocsátja, mindkét esetben azonban többnyire egy részét magában megtartja, absorbeálja. Ha összetett fény esik a testre, úgy az egyes színek majd egyenlő, majd különböző mértékben absorbeáltatnak. Az átment vagy visszavert fény tehát már nem tartalmazza az egyes színeket azon arányban, a melyben a beeső fény tartalmazza azokat; e különbség az illető test molekularis szerkezetétől függ. A testek absorbtio-képességét akkép vizsgáljuk meg, hogy az átbocsátott vagy visszavert fényből színképet képezünk, mely színképet absorbtio-színképnek nevezünk.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a testek absorbtio-képessége a mérséklettel növekszik, vagyis, minél magasabb például a gáz mérséklete, melyen a fehér sugarak keresztül mennek, annál több sugár hiányzik az átbocsátott fényben, tehát az átbocsátott fény színképe annál kevésbbé teljes; s minthogy a világító testek által kibocsátott színek száma szintén növekedik a mérséklettel, azért a test által ki-

bocsátott fényt összehasonlították az általa absorbeált fénynyel. Az erre vonatkozó általános törvényt Kirchhoff fedezte fel, mely így hangzik: Minden test ugyanazon sugarakat képes absorbeálni, a melyeket maga ugyanazon mérsékletnél kibocsát.

Az égő gázoknál e törvény helyességéről igen egyszerű módon győződhetünk meg. Fönnebb láttuk, hogy izzó natriumgőz D-nél egy sárga vonalat ad. Az absorbtió törvénye szerint tehát e lángnak épen a D vonalnak megfelelő sugarakat kell absorbeálnia; a mit csakugyan tapasztalunk, ha folytonos színképet adó, fehérizzó test és a prisma közé ilyen natriumlángot tartunk; az egész színkép teljes, csak D-nél látunk egy, élesen határolt sötét vonalat. E vonal nem egészen fekete, mert maga a natriumláng vonala tünik ott elő, de az által, hogy az izzó testből, melynek fénye sokkal erősebb a natriumlángénál, e sugarak hiányzanak, a D vonal világos alapon sötétnek látszik.

Ugy mint itt a D vonal a natriumgőz absorbeáló hatása által láthatóvá lesz, úgy a jódgőz absorbeáló hatása a sötét vonalak egész sorát tünteti elő, melyek Wüllner vizsgálatai szerint, pontosan megfelelnek a jódgőz világos vonalainak.

A Kirchhoff-féle törvény a színképelemzésben új korszakot alkotott, mert ez által nem csak a világos vonalak megjelenéséből következtethetünk valamely testre, hanem az által is, hogy az illető vonalak a színképből hiányzanak.

4. **Az égi testek alkatrészei.** — A gázok színképeinek megfordításából magyarázza meg Kirchhoff a Fraunhofer-féle vonalak jelenlétét a nap színképében. A napot ugyanis fehérizzó szilárd vagy folyós tömegnek kell képzelnünk, mely magában folytonos színképet adna. Ezt, mint valamely magot, azon gőzök veszik körül, melyek a nagy hőség által folytonosan fejlődnek. E gőzök a mag azon sugarait absorbeálják, melyeket maguk sokkal csekélyebb mértékben kibocsátanak, miáltal az ezeknek megfelelő részek a színképben sötétek, és ezek a Fraunhofer-féle vonalak. Hogy ha tehát tudjuk, hogy milyen testek bocsátják ki azon sugarakat, melyek a nap színképében sötétek, azaz melyek a Fraunhofer-féle vonalaknak megfelelnek, úgy abból azonnal következtethetjük, hogy azon testek a napban meg vannak. Igy például az eddigiekből következtethetjük, hogy ott natrium van, mert a D vonal épen összeesik a natrium vonalával, és más testet, mely ugyanezen vonalat adná, nem ismerünk. Igy Kirchhoff a vas jelenlétére több mint 60 vonal azonosságából következtetett, mely azonosságot Angström és Thalén 450 vonalra mutatták ki. Ép úgy lőn kimutatva a magnesium, calcium, chrom sat. jelenléte; mig lithium, aluminium, horgany, réz, arany, ezüst, ólom sat. a napban nincs. Azon kivül nagy mennyiségü hydrogenra lehet következtetni.

A naptól származó Fraunhofer-féle vonalakon kivül, még olyanok is találtattak, melyek a föld légkörének absorbtiója által létesülnek, és azért atmosphärikus vonalaknak neveztettek. Azon körülmény ugyanis, hogy e vonalak tisztábbak lesznek vagy épen

képződnek, ha a napsugarak a körlég nagyobb rétegén mennek át, és ha nagyobb mennyiségü vizgőzt tartalmaz, kétségen kivül helyezi, hogy atmosphärankhoz tartoznak. Az A és B vonalak, melyek tisztasága lényegesen függ a nap állásától, atmosphärikus vonalaknak tekintetnek.

A Fraunhofer-féle vonalak fönnebbi magyarázatából következik, hogy a nap legszélső részének színképében, mely természetesen azon gázokból áll, melyek az absorbtiót létesitik, a Fraunhofer-féle vonalaknak megfelelő világos vonaloknak kell mutatkozniok.

A nap egyes, tetszésszerinti részeinek színképeit akkép vizsgálhatjuk meg, hogy valamely távcső objectiv lencséjét a nap felé fordítjuk, és ennek gyüjtőpontjába helyezzük a spectroscop rését úgy, hogy a nap képe a rés síkjába essék; a távcső irányitása által könnyen érhetjük el azt, hogy csak a nap bizonyos részéből essenek be a sugarak. Ily módon lehet megvizsgálni az egyes csillagok színképeit is.

A nap széle csakugyan vonalos színképet ad, a mint az Kirchhoff elméletéből következik. Gázok jelenléte a nap felületén az 1868-ki napfogyatkozás alatt teljes határozottsággal lőn bebizonyitva. Teljes napfogyatkozások alatt ugyanis a nap szélének különböző helyein legkülönbözőbb alakú vörös kidúdorodások láthatók, melyeket protuberanziaknak neveztek el. E protuberanziak rendes körülmények közt csak azért nem láthatók, mert gyenge fényük a nap fényében eltünik. E protuberanziak színképei először az 1868-ki napfogyatkozás alatt vizsgáltattak meg, és vonalos színképükben leginkább a hydrogen vonalai tüntek ki. Ez által kétségen kivül van helyezve, hogy a protuberanziak gőzalakú képződmények, melyek nagyobbrészt hydrogenből állanak.

Janssen, ki e napfogyatkozást Keletindiában észlelte, már a rá következő napon egy módszert fedezett fel, mely szerint a protuberanziakat mindenkor lehet észlelni.

Ha sikerül a nap fényét tetemesen gyöngiteni anélkül, hogy a protuberanziak fényét hasonló mértékben gyöngitenök, úgy ezek láthatókká lesznek. Ennek lehetősége azon alapszik, hogy a nap, az egyes vonalakat kivéve, folytonos színképet ad, míg a protuberánziak csak egyes egyszerü színü vonalakat adnak, melyek szélessége csak csekély mértékben növekszik, ha több prismán át bocsátjuk; míg a nap színképe ez által nagy területre szétterjesztetvén, majdnem teljesen láthatatlan lesz. Hogy tehát a protuberanziak színképe a nap gyenge színképén mint sötét alapon látható legyen, csak nagy mértékben szétszoró spectroscopot kell használni.

E berendezés mellett nem csak a protuberanziak jelenlétét lehet látni a vonalok megjelenéséből, hanem egész képüket lehet előtüntetni, ha a spectroscop rését annyira szélesbitjük, hogy az egész protuberanzia képét magában foglalhassa; ekkor a protuberanzia minden egyes homogen színe annak élesen határolt képét mutatja, melyek a színkép nagy kiterjedésénél fogva egymástól teljesen el vannak különitve, úgy hogy a protuberanzia képét tetszés szerint vörös színben C sugarai-

nál fogva, vagy zöldeskék színben F sugarainál fogva, lehet látni. Folytonos színképet adó test észlelésére e módszert alkalmazni nem lehetne, mert az egyes képek egymást elfödik.

Ily módon Young a nap egész atmosphäráját vizsgálta meg, és abban eddig 273 világos vonalat talált, melyek közül 64 a vas vonalaival egyezik meg.

A bolygók és holdunk a naptól nyervén világosságukat, amazéval azonos színképet adnak. De az álló csillagok a napétól és egymástól eltérő színképeket adnak. Színképeik szerint a csillagokat három csoportra oszthatjuk: 1) igen fényes csillagokra, melyeken a hydrogent nagy mennyiségben és magnesiumot találunk; 2) hidegebb csillagokra, melyekhez napunk is tartozik, ezeken metalloidokat és vegyületeket nem találunk; 3) még hidegebb csillagokra, melyeken a fémek csak vegyületben vannak meg, hol vonalai nem láthatók, hanem csak a vegyületeket jellemző szalagos színképeket mutatnak.

V. A testek színeiről.

1. Az átlátszó testek olyan színben tünnek elő, a milyen színü sugarakat keresztül bocsátanak. Igy például a vörös üveg csak vörös, a kék csak kék sugarakat, — vagy pedig olyan sugarakat bocsát keresztül, melyek keveréke vöröset, illetőleg kéket ad. Ebből következik, hogy vörös üveg csak akkor látszik, ha olyan fény által világíttatik meg, mely vörös sugarakat tartalmaz.

Ha lehetőleg a színkép színeivel egyenlő, azaz homogen-színü vörös és kék üveget egymás fölé tartunk, úgy e kettős üveg tökéletesen átlátszatlan, habár mindegyik külön a ráeső fény nagy részét bocsátja keresztül. A vörös üveg ugyanis csak vörös sugarakat bocsát keresztül, a kék üveg pedig a vörös sugarakat nem bocsátja át, azért a kettős üvegen semmiféle fény sem hatol keresztül.

Az átlátszatlan testek, egyenetlen felületüknél fogva, a rájuk eső fényt szétszórják; az így szétszórt fényt diffus-fénynek nevezzük. A fény egy része a test felső rétege által absorbeáltatik, és a visszavert fény színében látjuk a testet. A test fehér, ha a ráeső sugarakat oly arányban veri vissza, a melyben a nap fényében foglaltatnak. A test fekete, ha valamennyi sugarakat absorbeálja. Ha valamely test csak bizonyos színü sugarakat absorbeál, akkor olyan színben látszik, a melyet a nem absorbeált sugarak keveréke képez.

A vörös test természetesen csak olyan fény világításában látszik vörösnek, mely vörös sugarakat tartalmaz. Ha sötét szobát olyan lánggal világítunk meg, mely csak sárga sugarakat tartalmaz, mint például a natriumláng, akkor minden test sárgának látszik.

2. **Phosphorescenc.** — Phosphorescenc alatt némely testek azon tulajdonságát értjük, hogy közönséges mérsékletnél világítanak; e világosság azonban oly gyenge, hogy csak sötétben észlelhető, a midőn a szem más hatásnak nincs kitéve. E tünemény elnevezése a

phosphortól ered, mert ez bír kiválóan e tulajdonsággal, habár már régebben ismeretes a gyémánt rövid ideig tartó világítása, miután a napsugaraknak ki volt téve. Ugyan e tüneményt mutatják a mészspath, a chlorophan-nak nevezett fluorcalcium, sat; mesterségesen előállított vegyületek közül pedig különösen kiemelendők az alkalikus földek kénvegyületei.

E tüneményeket akkép idézhetjük elő, hogy a nevezett testeket egy ideig a napfénynek, vagy csak a diffus nappali fénynek kitesszük, és azután sötét szobába hozzuk, melyben az észlelő már azelőtt tartózkodott, hogy szeme kisebb hatásokra is érzékenynyé tétessék. Egy második módja a phosphorescenc-tünemények előidézésének az, hogy az illető testeket villanyos fénynyel világítjuk meg. A különböző testek utó-fényeinek erőssége és színe nem csak chemiai alkatrészeiktől függ, hanem physikai állapotuktól is; így például különös befolyással bír a testek mérséklete.

3. **Fluorescenc.** — Fluorescenc alatt azon tüneményt értjük, hogy némely testek a megvilágító fény színétől és saját színüktől különböző fényt árasztanak szét.

Ha például kénsavas chinin-oldatot, mely kevés kénsavval savanyítva van, átbocsátott fényben szemlélünk, úgy az azon fölületen, melyre a fény esik, igen szép kék szint mutat, habár az oldat átlátszó és szintelen, mint a víz.

A kék szín nem hat mélyen a folyadékba; miután a fény a felső rétegen áthatolt, hatását e tünemény előidézésére már elvesztette, habár különben igen kevéssel gyöngült.

Chlorophyll-oldat, nem igen vastag rétegben zöld; a nap fényében azonban barnavörös szint mutat; és ha lencsével képezett sugárkúpot bocsátunk a folyadékba, úgy az vérvörösnek látszik.

Szilárd testek is mutatnak ilyen tüneményeket. Igy például egy fluorcalcium-kocka, mely közönséges nappali fényben tisztán átlátszó, sugárkúp által gyenge violakékre festetik.

Uránüveg átmenő fényben sárga, és felületén kevéssé zöldes; sugárkúppal vizsgálva, világos zöld színü.

MÁSODIK FEJEZET.

A fény hő- és chemiai hatása.

I. A nap szinképének hősugarai.

A nap nem csak fényt, hanem hőt is áraszt, s minthogy a hőhatás egyidejü a fényhatással, azon kérdés támad, vajjon különböznek-e a hősugarak a fénysugaraktól, és ha valóban vannak sugarak, melyek csak hőhatással birnak, követik-e ezek is a fénysugarakra megállapított törvényeket.

E kérdés megfejtésére W. Herschel hőmérőt vezetett a színképen végig, és azonnal találta, hogy a színkép egyes sugarai különböző mértékben melegítenek. A hőhatás a színkép viola végétől a vörös felé növekedik, és pedig nem oly mértékben, mint a fény erőssége, mert míg a fény a sárgában D és E vonalak közt legerősebb, s azután a vörösben rögtön elgyengül: a hő majdnem egyenletesen növekedik a színkép legszélső végeig.

Ehhez járul még azon nevezetes tapasztalata, hogy a színkép hőhatása még a vörösön túl is terjed. A miből látjuk, hogy a nap a vörös sugaraknál még kevésbbé törékeny sugarakkal is bír, melyek azonban a szemre már nem képesek hatást gyakorolni, de hatnak a hőmérőre; Herschel e sugarakat sötét hősugaraknak nevezte.

Melloni Herschel kisérleteit ismételvén, felismerte, hogy az üveg a legtöbb hősugarakat absorbeálja, a miért Herschel vizsgálatai csak igen hiányosak lehettek. Azért ő kősóból készített prismát alkalmazott, mely az eddig megvizsgált anyagok közül a legtöbb sugarat bocsátja keresztül.

A színkép hevítő része alig terjed a kék színig, a violában már épen nem vehető észre; erőssége a vörösig fokozatosan, ezentúl pedig nagy mértékben növekszik, míg ismét gyengül. A színkép hőhatása a vöröstől kétszer oly távolságra terjed, mint a mekkora a látható színkép.

II. A nap színképének chemiai sugarai.

1. Scheele 1781-ben azon felfedezést tette, hogy az ezüstchlorür a színképben, de különösen a szélső violában, megfeketedik. Wollaston azután megmutatta, hogy a hatás jóval a violán túl is terjed. E sugarakat ultra-viola, vagy, mivel csak chemiai hatás által vehetők észre, chemiai sugaraknak nevezzük.

A napsugaraknak chemiai hatását számos kisérlet mutatja. Igy például chlorgáz és hydrogen sötétben közönséges mérsékletnél nem vegyül egymással; a mint e két gáz keverékét a fény behatásának teszszük ki, úgy vegyülnek, és pedig lassan a diffus nappali fényben, és heves tűztünemény közt a közvetetlen napfényben. A vízben lévő phosphor a napfényben vörös phosphoroxyddá alakul át. A fehér chlorezüst a világosságon megfeketedik, a mi a vegyület szétbomlásának következménye, a chlor elillan és az ezüst igen finom poralakban marad vissza. Még sok más eset ismeretes, a hol a fény majd vegyülést, majd bomlást idéz elő.

Igen feltünő a fény hatása a szerves anyagok bomlására; a fény ugyanis előmozdítja a levegő oxygenjének vegyülését a szerves testek szenével és hydrogenjével. Ezért kopnak el a napon a szerves anyagokból készült festékek.

Nagy fontosságú a fény hatása a növények fejlődésére; a sötétben azok csakhamar hervadásnak indulnak. A növények zöld része ugyanis a levegőből szénsavat szí magába; e szénsav felbomlik, a szén

a növényben marad, mig az oxygen ismét kiszabadul. De a szénsav ezen szétbomlása, és az oxygennek kilehelése csak a fény behatása alatt megy végbe. Erről akkép győződhetünk meg, ha még üde zöld ágat szénsavat tartalmazó vízzel telt üvegburába mártunk; a világosságon a zöld leveleken buborékok keletkeznek, melyek az üvegbura felső részén összegyülnek; az összegyült gáz: oxygen. Sötétben ezen oxygen nem fejlődik, valamint akkor sem, ha a víz szabad szénsavat nem tartalmaz.

2. **A photographia.** — A photographia azon feladatot tüzi maga elé, hogy a fény chemiai hatása által a sötét kamrában előállott képet megrögzítse.

Wedgwood kisérlette meg először a fénynek chlorezüstre gyakorolt hatása által díszítményeket lemásolni; de erre a sötétkamara képét igen gyöngének találta. Davy a napmikroskoppal állította elő a kis testek képeit chlorezüst-papiroson, de a megrögzített kép csakhamar elmosódott a fénynek folytonos hatása által. A föladat már most abban állott, a kép megrögzítése után, a fény további hatását meggátolni. E szép és nehéz feladatot J. N. Niepce oldotta meg 1820 körül, ezután Daguerre-el egyesülvén, a módszert tökéletesbítették. De csak később, miután Daguerre az ezüstjodür rendkivüli érzékenységét felfedezte, értek el minden tekintetben megfelelő eredményt, melynek közzététele 1839-ben oly feltünést okozott, milyennek a tudomány történetében ritkán találjuk párját.

A Daguerre-féle fényképek igen vékony ezüst-réteggel bevont rézlapon állíttatnak elő. Miután az ezüstfelület kellőleg megtisztíttatott, chlorjod-oldatot tartalmazó porcellánedénybe tétetik, hol aranysárga vagy viola jodezüstréteg képződik. Ekkor a lapot, mialatt a fény behatásától megóvjuk, a sötét kamara azon részére helyezzük el, a hol a lemásolandó tárgy képe előáll. Rövid idő lefolyta után a lapot ismét kiveszszük, ekkor a kép nyomát sem látni még, de az csakhamar előtünik, ha a felületet higanygőzöknek teszszük ki. Ezután a lapot alkénessavas-natron-oldatba teszszük, hol a fölös jodezüst feloldódik, miáltal a fény további hatása elháríttatik. Ha a lapot körülbelül egy óráig hagyjuk a sötét kamrában, úgy a kép látható lesz; de negativ képet kapunk, vagyis olyant, melyben a tárgy világos helyeinek a kép sötét helyei felelnek meg és megfordítva.

A szorosabb értelemben vett photographia, mely jelenleg oly terjedelmes alkalmazást nyert, Talbot felfedezése. Az eljárás két részből áll 1) egy negativ kép előállításából, és ebből készíttetik 2) a positiv kép, vagyis olyan, melyben a fény és árnyoldalak a tárgynak megfelelnek.

A negativ kép, mely eredetileg papiroson állíttatott elő, jelenleg üvegen készül. Az üveglapot alkohollal higított collodiummal, mely kevés jodkaliumot tartalmaz, leöntjük, s azután az úgynevezett ezüst-fürdőbe teszszük, vagyis hideg salétromsavas ezüstoldatba.

A salétromsavas ezüst áthatja a collodium-réteget és ott a jodkaliummal érintkezvén, az érzékeny jodezüstöt képezi. Ezt gyertyával

kivilágított sötét szobában kell megtenni, különben a jodezüst azonnal megfeketedik.

E lapot rövid időre a sötét kamrában előállott kép hatásának teszszük ki, és mielőtt még a kép látszanék, onnan ismét kiveszszük. Azon helyen, melyen a fény hatott, a jodezüstből az ezüst könnyebben választható ki, mint azon helyen, a hol a fény e szétválasztást még meg nem kezdhette, úgy, hogy valamely reducáló folyadék, melyre rendesen pyrogallussavat használnak, rövid idejü behatása alatt a negativ kép előáll, t. i. azon helyen, melyre a fény hatott, a lap megfeketedik.

Ezután a jodezüstöt el kell távolítani a collodium-rétegből, mert különben a nappali fény behatása alatt az egész lap megfeketednék. E célra a lapot alkénessavas natronnal leöntjük és azután tiszta vízzel lemossuk.

E negativ képből a positiv kép chlorezüsttel itatott papiroson a következő módon állíttatik elő:

A papirszelet egyik oldalával konyhasóoldatra tétetik addig, míg egészen átázik. Miután itatós papirossal leszárítottuk, azon oldalát, mely a konyhasón feküdt, salétromsavas ezüstoldatra teszszük, a hol chlorezüst képződik.

Ezen érzékeny papirosra teszszük az üveglapot, melyen a negativ kép van és miután eltolások elkerülése végett szorosan egymáshoz kapcsoltuk, kiteszszük a nap sugarainak, úgy, hogy azok a negativ kép világos részein áthatva a chlorezüstpapirost megbarnítják. Igy előáll a papíroson a positiv kép. De ezután a fölös chlorezüstöt a papirosból el kell távolítani, a mi az által történik, hogy a képet alkénessavas-natronoldatba, azután pedig tiszta vízbe teszszük.

III. A fény-, hő- és chemiai sugarak azonos tulajdonságai.

Láttuk, hogy a nap háromféle sugarakat bocsát ki: sötét hősugarakat, látható színeket és chemiai sugarakat. A közvetetlen hozzánk érő napsugarakban mindhárom egy csoportot képez, de a prisma által törő-képességük szerint rendeztetnek. A színkép középső sugarai mind a háromféle hatást gyakorolják.

A legujabb időben e háromféle sugarak tulajdonságait összehasonlították, és miután kivétel nélkül azt találták, hogy egyenlő törvényeket követnek, nem tehetjük fel, hogy a színkép középső részében például a zöldben három különböző nemű sugár van, hanem fölveszszük, hogy ott törőképességük által jellemzett egynemű sugarak vannak. Ha e sugarak a szembe esnek, ott a látás érzetét keltik, ha egy hőmérőre esnek, azt megmelegítik, és végre chemiai hatást is gyakorolhatnak. De e fény, e hő és e chemiai hatás egy és ugyanazon ok különböző hatása. Ezen értelemben kell a fényt azonosnak tekinteni a sugárzó hővel.

NEGYEDIK SZAKASZ.

A fény talalkozása, hajlítása és polarisatiója.

ELSŐ FEJEZET.

A fény találkozása és hajlítása.

I. A fény elmélete.

A fény mivoltáról alkotott, meggyőző elmélet felállítása hosszú fáradozások és küzdelmek után csak a legújabb időben sikerült. A mechanika megalakítása után a fény tüneményeit is mechanikai alapelvekre igyekezték visszavezetni, tették pedig ezt két módon : 1) azon alapfeltételből kiindulva, hogy a fény igen finom anyag, melyet a világító testek szétröpítenek, igyekeztek megmagyarázni a fény tüneményeit és ezek törvényeit. Ezen elméletet különösen Newton fejtette ki. 2) Felvették, hogy az egész világürt igen finom, Aethernek nevezett anyag tölti ki, mely anyagnak bizonyos nemü mozgása kelti bennünk a fény érzetét. E mozgás minőségét Huygens állapította meg, ugyanis azon felvételből, hogy a fény az aether rezgő mozgása által keletkezik és hullámzó mozgása által terjed, a fény tüneményeit igen szépen vezette le.

Huygens elméletéből a fény egyenes vonalú terjedését meglepő elmésséggel bizonyította be; a visszaverődés és törés törvényei, mint a hangtanban láttuk a hullámzó mozgás szükségképi következménye, mindazáltal Newton tekintélye egy teljes évszázadig nyomta el ezen elméletet.

A 19-dik század elején két hatalmas ész találkozott ezen elmélet körüli fáradozásában, az angol tudós Young (élt 1773—1829-ig) és Fresnel (1788—1827-ig) francia mathematikus. E két férfiu, különösen az e szakaszban tárgyalandó tüneményekből kiindulva, oly alaposan és meggyőzőleg vezette le a fénytünemények törvényeit, hogy az egész tudományos világot a hullámzás elméletének elfogadására kényszerítették.

Ezen elméletet legjobban az illető tünemények kiséretében fogjuk megismerhetni.

II. A fénytalálkozás.

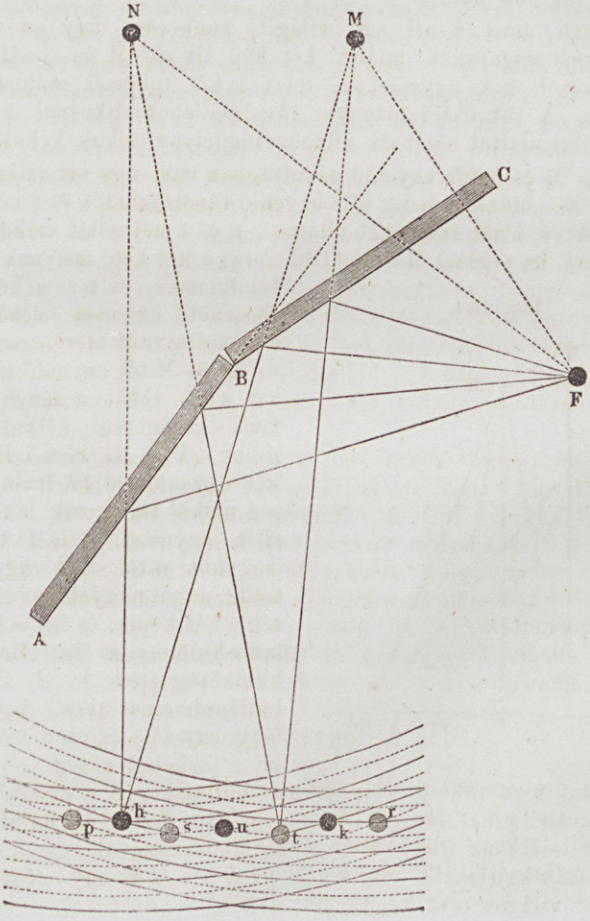
1. A hullámzás elméletének leghathatósb támasza volt azon nevezetes tünemény, hogy a fény bizonyos körülmények közt gyengittetik azáltal, hogy fény hozzá járul.

Már Grimaldi 1670 körül kimondotta, hogy fény fényt gyengithet. A kisérlet, melyből ezt következtette, a következő : A nap-

sugarakat két igen közel levő kis nyiláson bocsátotta a sötét szobába, és ott fehér ernyőn felfogta. Az így származott két világos körsík részben egymást fedte; azon rész, melyre mindkét nyilásból esett fény, világosabb volt, mint az, mely csak egy nyilás által volt megvilágítva, azonban az erősebben világított rész határán sötét csikokat talált, melyek dacára annak, hogy mindkét nyilásból nyertek fényt, mégis sötétebbek voltak, mint az egyik nyilás által megvilágított részek. E csikok eltüntek, a mint az egyik nyilás bezáratott.

Grimaldi magyarázata a fényhullámokból figyelmen kivül hagyatott és csak Young 1800-ban karolta fel ismét e tárgyat. Young azt tapasztalta, hogy ha keskeny testet világító pont vagy vonal által

187. ábra.



megvilágítunk, úgy a test mögött lévő alzaton világos és sötét csíkok mutatkoznak, mely csíkok eltünnek, ha a fény a test csak egyik oldalánál mehet el. Young e kisérlettel tehát szintén azt mutatta, hogy két fénysugár, mely igen közel egy irányban halad, találkozása által nem mindig erősíti egymást, hanem az egyik a másiknak hatását részben vagy egészben megsemmisítheti. Young két fénysugár e kölcsönös hatását interferentiának nevezte.

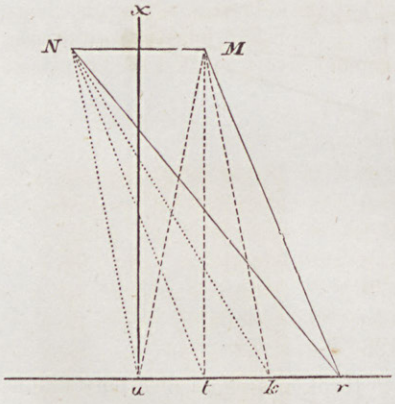
Fresnel a következő módon létesített interferentiát.

2. Fresnel tükörkisérlete. — Két fém- vagy fekete üvegből készült tükör akkép van egymás mellé állítva, hogy síkjai függélyesek legyenek, tehát hogy függélyes vonalban érintkezzenek; a szög, mely alatt a két tükör egymáshoz hajlik, csak kevéssel kisebb 180 foknál. A 187. ábra a két tükör keresztmetszetét mutatja, AB és BC a két tükröző felület.

Ha már most F-nél egy világító pont van, úgy ez mindkét tükörre bocsát sugarakat, miáltal két kép áll elő M és N-nél; e két kép igen közel esik egymáshoz, mert a két tükörsík majdnem egy síkot képez. A tükröktől bizonyos távolságban találkoznak a visszavert sugarak, miáltal sötét és világos függélyes csíkok keletkeznek.

Ha u M és N-től egyenlő távolságban van, úgy ott világos csík keletkezik, két oldalán pedig tőle egyenlő távolságban s és t-nél sötét-, ezek után h és k-nál ismét két világos-, p és r-nél sötét csíkok keletkeznek; mert, ha például M és N (188. ábra) a két kép, melynek sugarai találkoznak, és ux a két képet összekötő egyenes felezőpontján e vonalra vont merőleges, akkor u, M és N-től egyenlő távolságban van, tehát a fényhullámok fazis-különbség nélkül érnek u-hoz. (V. ö. II. rész.) Ha pedig két egyenlő hullám fazis-különbség nélkül találkozik, akkor erősítik egymást. Minél távolabb megyünk u-tól, t, k vagy r pontokig, annál nagyobb az útkülönbség a két képig, és így a két fény fazis-különbsége is. Ha fazis-különbség épen 1, 2, 3 ..... hullám-hosszat tesz, úgy a két fény egymást szintén erősíti; de ha a fazis-különbség $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$ .... hullámhosszat tesz, akkor az egyiknek hullámhegye a másik völgyével találkozván, a két fény egymást gyöngíti. Azért, ha az utolsó két ábrában $Nt - Mt$ az illető fény $\frac{1}{2}$ hullámhoszszával egyenlő, akkor t-nél sötét csík származik, mig k-nál, ha $kN - kM$ egy egész hullámhossz, ismét világos csík keletkezik, s í. t.

188. ábra.



Ebből látjuk, hogy e tüneménynek mindig elő kell állania, ha egy fényforrásból jövő fényt oly két részre osztunk, melyek az ernyőn ismét találkoznak.

3. **A fény hullámhoszsza és rezgési száma.** — Közel fekszik az előbbi kisérletből a fény hullámhoszszát meghatározni. Ugyanis csak $Nt - Mt$ távolság-különbségeket kell pontosan meghatároznunk, mely különbség megadja a fény félhullámhoszszát. $Nk - Mk$ pedig az egész hullámhosszat adja meg.

Egy igen nevezetes és a fény elméletére nagy fontosságu tapasztalat járul még az eddigiekhez. Ha ugyanis különböző színü fénynyel teszszük e kisérletet, úgy e tünemény egészen hasonló módon ismétlődik, csakhogy a csikok egymástól távolabb vagy közelebb vannak, a szerint a mint a használt fény különböző színü. Igy például, ha sárga fénynyel teszszük a kisérletet a csíkok távolabb vannak, mint ha vörössel teszszük; a violánál pedig legtávolabb vannak. Szóval, annál szélesebbek a csikok, minél nagyobb törő-képességel biró fényt használunk.

Már pedig abból, hogy a csíkok távolabb vagy közelebb esnek egymáshoz, közvetetlenül következik az, hogy a használt fénynemek hullámhoszszai különbözők, mert minél távolabb van t u-tól, annál nagyobb $Nt - Mt$ a fény félhullámhoszsza. Tehát

minél nagyobb törőképességgel bir a fény, annál kissebb hullámhoszsza.

Miután továbbá minden rezgés által egy hullám keletkezik, azért, ha az egy másodperc alatt leírt utat osztjuk a hullámhoszszal, nyerjük, hogy azon másodperc alatt hány hullám keletkezett, vagyis, hogy mennyi az illető fény rezgési száma. A többször jelzett útkülönbség meghatározásából és a fény sebességéből nyert értékek a következő táblázatban vannak összeállítva:

Fény.	Hullámhossz. mm	Rezgési szám.
Vörös . . .	0·000 620	497 billio
Narancs . .	0·000 583	528 „
Sárga . . .	0·000 551	529 „
Zöld . . .	0·000 512	601 „
Kék . . .	0·000 475	648 „
Indigo . . .	0·000 449	686 „
Viola . . .	0·000 423	728 „

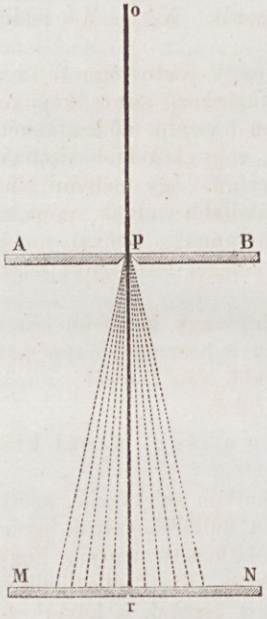
Ebből látjuk, hogy a különböző törőképességgel biró fény különböző rezgési számnak felel meg, mint a magas és mély hangok: a vörös fény mély, a viola magas hangnak felel meg.

II. A fény hajlitása.

1. Az előbb emlitett Grimaldi és Young-féle kisérletek a fényről nyert eddigi tapasztalatainkkal ellenkeznek. Ha ugyanis a fény

egyenes vonalban terjed tovább, úgy egy pont által megvilágitott keskeny test mögött a két részre oszlott fény már nem találkozhatik. E kisérletek tehát azt mutatják, hogy a fény a test szélénél meghajlik, úgy hogy oda a hová a test mértani árnyéka esnék, a fény eljuthat.

189. ábra.



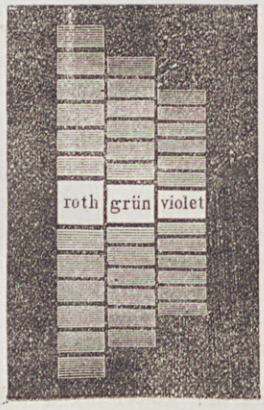
E tüneményt különböző módon lehet előállitani. Igy például, ha a nap vagy valamely lámpa fényéből *op* (189. ábra) keskeny sugárnyalábot bocsátjuk a sötét szobába, és ott az AB ernyőn kimetszett *p* keskeny rést megvilágitjuk vele, és az MN távolabb álló ernyőn e rés képét felfogjuk, úgy nem kapunk egy világos szalagot *r*-nél, a mint lenni kellene, ha a fény egyenes vonalban terjedne tovább, hanem egy világos szalagon kivül, mely sokkal szélesebb a *p* résnél, ennek mindkét oldalán sötét közegek által elválasztott kevésbbé világos szalagok is támadnak.

Ha keskeny résen át világító vonalra, és pedig egyszinü fény alkalmazásánál, például vörös üvegen át nézünk, úgy az előbbihez hasonló tüneményt látunk.

E szalagok szélességei ép úgy változnak a különböző szinekben, mint azt fönnebb találtuk: a vörös fényben legszélesebbek és a violában legkeskenyebbek; e szélesség változását a 190. ábra mutatja.

E tüneményeket Grimaldi után diffractio-tüneményeknek nevezzük.

190. ábra.



2. **A diffractio-tünemények magyarázata.** — Mairan a diffractiot a fénynek azon levegőrétegben történő töréséből magyarázta meg, melyet minden szilárd test maga körül megsűrít. Azonban Newton megmutatta, hogy e tünemény oly hajszál által is eszközölhető, mely két üveglemez közé zárt vízbe merül.

Young volt az első, ki e tüneményeket a hullámzás elméletéből igyekezett megmagyarázni. Azonban csak Fresnel adta a helyes magyarázatot, a mennyiben számitása eredményei nem csak tökéletesen megegyeztek az ismert kisérletekkel, hanem a vont következtetések új kisérletek által teljesen igazoltattak. Fresnel elemi úton is

megmagyarázta a legegyszerűbb eseteket, mely magyarázatot a következőkben vonjuk össze.

De mielőtt e magyarázatba bocsátkoznánk egy igen fontos elvvel kell megismerkednünk.

3. **Huyghens elve.** — Huyghens a hullámzás elmélete alapját a következő tétellel vetette meg:

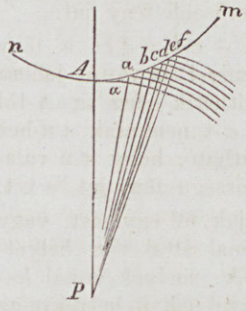
A helyett, hogy a hullám továbbterjedését akkép képzelnők, hogy a mozgást megindító rezgő pont körül származó gömbhullámok a sugarak irányában, a közeg sűrűségétől és ruganyosságától függő sebességgel mindinkább nagyobbodnak: a továbbterjedést akkép képzelhetjük, hogy valamely gömbhullám minden pontja új hullámokot indít meg, mely elemi hullámok összege képezi a továbbterjedett hullámot. E tétel annyira megkönnyíti a tünemények megmagyarázását, hogy principium szerepét játsza ezen elmélet további kiképeztetésében.

A Huyghens-féle elvet*) tisztán meg fogjuk érteni, ha megnézzük, hogy hogyan következtette belőle felállítója a fény egyenes vonalú terjedését:

Ha mn (191. ábra) valamely világító pontból származó hullámfelület, úgy a P pont a világító pont által ép úgy világíttatik meg, mint ha az mn felület minden pontja, mint világító pontok megvilágítanának a P pontot.

Ugyanis könnyen belátható, hogy e felület pontjainak eredő hatása csak az A-hoz igen közel eső pontok hatásától függ, ha PA merőleges a hullámfelületre. Jelöljük az AP távolságot γ-val és oszszuk fel az Am hullámfelületet az által, hogy rendre γ, $\gamma + \frac{1}{2}\lambda$, $\gamma + \frac{2}{2}\gamma$, $\gamma + \frac{3}{2}\lambda$ .... sugarakkal P-ből, mint középpontból, köríveket húzunk. Az egymás mellett lévő részek ab és bc, bc és cd.... oly kevéssé különböznek egymástól, hogy egyenlőknek vehetjük fel, és kicsinységük miatt az aP, bP, cP.... vonalak közül az egymás mellett lévőket párhuzamosaknak tekinthetjük, és minthogy különbségük $\frac{1}{2}\lambda$, azért e sugarak egymást megsemmisítik, mialatt P-hez érnek. Ez áll valamennyi részről, kivévén azt, mely A-nál van, mert ez az utána következőnél sokkal nagyobb. Az Aa-ból kiinduló hullámok meg nem semmisíttetnek, legfölebb a kisebb ab rész által gyöngíttetnek, mely utóbbi úgy is már bc által tetemesen meggyöngíttetett.

191. ábra.



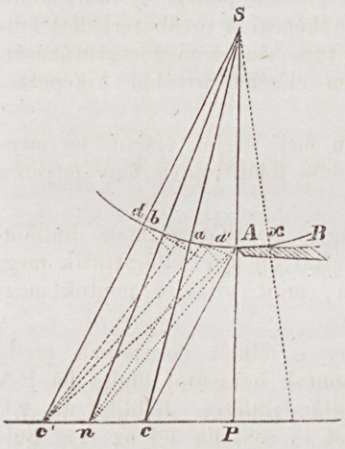
*) Bebizonyítása ugyan nem fölötte nehéz, de talán még sem lett volna célszerű beszorítani e munka szük keretébe.

Látjuk tehát, hogy a hullámfelület különböző részeitől a P ponthoz erő fény gyorsan gyengül az A ponttól való távolsággal. Ugyanez áll a hullám An részéről.

Abból, hogy PA meghosszabbítása a világító ponton tartozik keresztül menni, látjuk, hogy Huyghens elvéből a fény egyenesvonalú terjedése szükségkép következik. Ebből kiindulva fogjuk az egyenesvonalú terjedéstől való eltérést is megmagyarázni.

4. **Az ernyő szélének befolyása.** — Ha az S világító pontból kiinduló fényhullám az AB ernyőbe ütközik (192. ábra), úgy a P pont csak a hullám egyik fele által világíttatik meg, mely villágosságot 1-el jelölhetjük. Vizsgáljuk meg azon c pontot, melynél $Ac - ac = \frac{1}{2}\lambda$. E pont nemcsak a hullám balra eső felétől nyer 1 erősségü fényt, hanem még aA-tól is, és pedig 1-nél nagyobb l erősségü fényt, mert az A-n túl lévő részek elesnek, s így ennek erősségét le nem ronthatják. Tehát c-nél a világítás $1 + l$.

192. ábra.



Vizsgáljuk már most azon n pontot, melynél $An - nb = 2\frac{1}{2}\lambda$, és oszszuk be az Ab ívet két részre Aa' és $a'b$-re, úgy, hogy $An - a'n = \frac{1}{2}\lambda$ és $a'n - bn = \frac{1}{2}\lambda$. a' nem eshetik össze a-val. Az Aa' és $a'b$ részekből kiinduló hullámok egymást majdnem teljesen megsemmisítik, és így az n ponthoz 1-nél csak kevéssé erősebb fény jut.

c' pontban, mely úgy fekszik, hogy $c'A - cd = \frac{3}{2}\lambda$, a fény erőssége $1 + l'$ lesz, mely l' nagyobb 1-nél, mivel az A-tól jobbra eső hullámok hiányoznak, és így nem semmisíthetik meg az A-tól balra eső pontokból származó hullámokat, azért c'-t nem csak a d-hez közel lévő pontok világítják meg. Könnyen belátható, hogy c'-n valamivel túl lévő ponthoz ismét majdnem csak 1 erősségü fény jut, s í. t.

Igy tehát világos és sötétebb pontok váltják föl egymást, vagy pedig, ha az S pont az A éllel párhuzamos vonal által van helyettesítve, világos és sötétebb szalagok keletkeznek, melyek annál kevésbbé élesek, minél távolabb vannak P-től. Távol fekvő helyekre az ernyőnek befolyása megszünik, a miért is ott folytonos 2 erősségü fény mutatkozik.

$AP c$, cn, nc' ..... távolságok λ-tól a hullámhossztól függnek, tehát viola fényben a szalagok sűrűbbek lesznek, mint vörösben.

Ezekből egyszersmind könnyen belátható, hogy a P ponttól jobbra, tehát az AB ernyő mértani árnyékába is esik fény, mivel az oda eső fény meg nem semmisíttetik az A-tól jobbra eső hullámok

által. E fény P-től való távolsággal gyorsan fogy, mivel a távolabb eső pontok a hullám azon részétől nyerik a fényt, mely a nekik megfelelő legerősebben világító ponttól x-től távol esik. P ponton túl tehát a világítás egyenletesen gyöngülő.

Ezzel a diffractio-tünemények magyarázatára szolgáló alapelveket ismerjük. Messzire vezetne, ha itt az egyes tüneményeket részletesen akarnók megmagyarázni.

III. Színes gyűrűk.

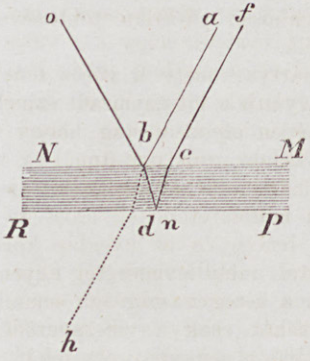
1. Minden test, ha elég vékony, átlátszó; e mellett igen feltünő az, hogy a vékony rétegek mindig élénk színezetet mutatnak. Látjuk ezt a szappanbuborékok gyönyörű színjátékán, a mihez hasonló a vékonyra kifúvott üveggömb s í. t. E tünemény a természetbuvárok figyelmét már régen magára vonta. Több mint 200 éve, hogy Hooke megmutatta, hogy minden test, ha elég vékony, ilyen élénk színeket mutat. Azon tapasztalata, hogy a szappanbuborékon a legvékonyabb folyadékréteg körül gyűrűalakban képződnek a színek, arra vezette, hogy kis görbületü sík-domború lencsével állított elő állandó színes gyűrűket, azáltal, hogy e lencsét domború részével sík üveglapra tette. E gyürűk keletkezését Newton körülményesen tanulmányozta, s azért Newton-féle gyűrüknek neveztetnek. Ott, hol a lencse az üveglapot éri, a reflectált fényben fekete folt látszik, mely concentrikus színes gyűrűkkel van körülvéve; e gyűrűk kifelé keskenyebbek és homályosabbak lesznek.

Newton e tünemény körülményes tanulmányozása által találta, hogy:

1) Ha a gyűrűket egynemü fénynyel, például natrium-lánggal világítjuk meg, úgy azok sokkal élesebbek, mint a fehér fényben; sőt az üveg szélén, fehér fényben épen nem látható igen keskeny gyűrűk, nagy számban lesznek láthatókká.

2) Különböző színekben a gyűrűk szélessége különböző, és pedig a gyűrűk annál szélesebbek, minél nagyobb a fény hullámhoszsza. Ebből következik, hogy fehér fényben a gyűrűknek színeseknek kell lenniök, a színek pedig bizonyos meghatározott rendben következnek egymásután.

193. ábra.



3) A keresztül bocsátott fényben az előbbi tüneménynek megfordítottját észleljük; ott, hol a színes gyűrűk voltak, most a sötétek vannak, és megfordítva. A színek pedig épen az előbbiek complementär színei.

2. **E tünemény magyarázata.** — Keressük már most e tünemény okát, hogy törvényét elméletileg megállapíthassuk. A 193. ábrában legyen

MNPR valamely átlátszó test vékony lemeze, melyre ab irányban párhuzamos sugárnyaláb esik. Minden ab sugár az MN felület által részben visszaveretik, és pedig bo irányban, részben bd irányban megtöretik; de mielőtt a lemezt dh irányban elhagyja, d-nél PR felület által ismét visszaveretik, mely visszavert rész MN felületen át bo irányban lép ki.

A megtört sugártól eltekintve, vizsgáljuk meg a két felület által visszavert párhuzamos sugárnyalábot.

Minden beeső ab sugárhoz, mely bo irányban veretik vissza, oly fc sugarat lehet találni, melynek a hátsó felületen n-nél megtört része bo-val összeesik.

Mielőtt e két sugár egymásra gyakorolt hatását meghatározhatnók, vissza kell emlékeznünk a hangtanban tárgyalt hullámok visszaverődésére. Ott láttuk, hogy minden hullám, mely sűrűbb közeg felületén a ritkább közegbe visszaveretik, a hullámhegy és -völgy helyzete tekintetében meg van fordítva; ugyanis ott, hol a beeső sugár hullámhegye van, a visszavert sugár hullámvölgye lesz és megfordítva. Minthogy pedig azon hullám, mely az eredetitől félhullámhoszszal elmarad, ehez szintén ily viszonyban van, mondhatjuk, hogy a sűrűbb közegen visszavert sugár a beeső sugártól félhullámhoszszal elmarad.

Igy tehát, ha a cnb út leirása által a második sugár az elsőtől például a vörös fény félhullámhoszszával elmarad, úgy a bo irányban haladó két vörös sugár épen összhangzásban van, mert a törés által az első szintén egy félhullámhoszszal marad el. Ilyen vastagságú hártyát tehát, vörös fényben, az o-nál lévő szem világosnak lát. Ugyanaz történik valahányszor a lemez vastagsága által a második sugár a félhullám páratlan többesével marad el, mert ehez járulván még egy félhullámnyi útkülönbség a visszaverődés által, a két sugár útkülönbsége az egész hullám valamely többese lesz; ilyen hullámok pedig erősitik egymást. Hogy ha tehát a megvizsgált lemez vörös fényben világos, úgy azok, melyek 3-, 5-, ... ször vastagabbak, szintén vörös fényben világosak lesznek. Ellenben olyan lemezek, melyek az elsőnél 2-, 4-, 6-, ... ször vastagabbak, vörös fényben sötétek, mert az egy irányban visszavert hullámok a félhullámhossz páratlan többesével különböznek, és igy egymást megsemmisitik.

Ha a beeső fény fehér, úgy azon hártya, mely a vörös fényt megsemmisiti, zöldes fényben látszanék, ugyanis a visszamaradt szinek keverékében. Azon hártya pedig, mely épen olyan vastag, hogy a sárga fényt megsemmisiti, fehér fényben kékes szint mutatna, s i. t.

Tökéletesen egyenletes vastagságú hártya tehát egész kiterjedésében vastagságától függő egyenlő szint mutat.

A Hooke-Newton-féle kisérletnél a lencse és az üveglap közé zárt vékony levegőréteg idézi elő a tüneményt, mely levegőréteg egyenletesen vastagodik. Az érintkező pontban a réteg vastagsága semmi, a két módon visszavert hullám között tehát csak a visszaverődés különbözőségétől származó félhullámnyi útkülönbség van, ott tehát a fény megsemmisül, és mi fekete foltot látunk. A középponttól ki-

felé a réteg mindinkább szélesbedik, s így rendre oly helyeket találunk, a hol az útkülönbség valamely homogen fény 2, 3, 4, 5..... félhullámhoszszával egyenlő, miáltal tehát fölváltva sötét és fényes gyűrűk keletkeznek. Minél kisebb a hullámhossz, annál közelebb vannak a gyűrűk egymáshoz. Fehér fénynél tehát nem egyesülhetnek a gyűrűk, hanem minden körnek, mely az érintkező ponttól, mint középpontból leiratik, az ott megsemmisített szín complementär színével kell bírnia.

Vizsgáljuk már most a tüneményt átbocsátott fényben. Az utolsó ábrában rajzolt dh megtört sugár most is egyesül az fc sugárral, miután ez az $fcnbd$ utat leírta, és n-nél meg b-nél visszaveretett; ez tehát cnb-vel ír le nagyobb utat, mint az első. A kétszeres visszaverődés által a sugár eredeti fázisába tér vissza, s így a két sugár fáziskülönbsége csak a lemez vastagságától származik. Ebből világosan látjuk, hogy az átbocsátott fényben a tünemény az előbbinek ellenkezője lesz. Oly vastagságú lemez, mely visszavert vörös fényben sötét, az átbocsátott fényben világos lesz. A Newton-féle gyűrűk középpontja előbb sötét volt, most világos lesz; ép úgy a homogen fényben mutatkozó sötét és világos gyűrűk meg vannak fordítva az átbocsátott fényben. Fehér fényben pedig az egymásra következő színek az előbbiek complementär szinei.

MÁSODIK FEJEZET.

Kettőstörés és polárisatio.

I. Kettőstörés.

1. Az eddig észlelt tüneményeknél a fény, ha valamely közeg által megtöretett, mindig pontosan követte a sinustörvényt. Azért nagy feltünést okozott, midőn Erasmus Bertholinus 1669-ben (tehát körülbelül 40 évvel a törés törvényének felfedezése után) a törés törvényétől eltérő fénytörést tapasztalt. Bertholinus ugyanis észrevette, hogy az islandi spathon, — mely szép átlátszó rhomboedereket (hexagonal rendsz.) képez — áttekintett testek duplán látszanak. Ő e tüneményt körülményesen tanulmányozta is, és azt találta, hogy a képek egyike a közönséges eddig ismert törés által, a másik pedig e törvénytől egészen eltérő módon képződik.

Azóta e tünemény számtalan más jegecen is észleltetett, és Dufay kimutatta, hogy kisebb nagyobb mértékben mindazon jegecek mutatják e tüneményt, melyek alakjai egy pont körül nem symmetrikusak. Tehát minden jegec, a szabályos rendszerbe jegecedők kivételével, kettősen töri a fényt.

A tény megismerése után sokan foglalkoztak a kettőstörés törvényének felderítésével, azonban ez csak Huygensnek sikerült

1678-ban, ki elméletéből e tüneményt oly szerencsésen megmagyarázta, hogy általa a törvényt, melyet számtalan kisérlet után sem voltak képesek áttekinteni, teljes szabatossággal vezette le. És mégis egy teljes évszázadig tartott, mig e magyarázat általánosan el lön fogadva, a midőn Haüy és Wollaston 1800 körül megmutatták, hogy az általuk talált új tünemények is tökéletesen Huygens törvényébe illenek.

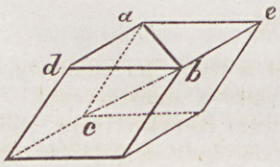
2. **A kettős-törés törvényei.** — E törvényeket röviden a következőkben vonhatjuk össze.

A rendes sugár mindig szigorúan követi a sinustörvényt, bár mikép is essék a fény a jegecre; de a másik sugár e törvényt épen nem követi, ez nem marad meg a beeső síkban; és a beeső szög és törőszög sinusai nem adnak állandó viszonyt.

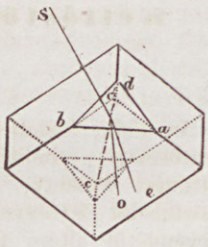
Két eset azonban van, melyben a rendellenes sugár a törőtörvények egyikét követi:

a) Ha a beeső sugár a főmetszetben van, úgy mindkét megtört sugár a beeső síkban van. — Állítsuk a mészspáthjegecet papirosszeletre húzott egyenes vonalra; ha a jegecet forgatjuk, úgy két helyzetet találunk, melyben a vonal két képe egymás meghosszabbításába esik. Ekkor a vonal egy pontjából származott két sugár egy síkban, ugyanis a törősíkban, vagy a beeső síkban van. Tehát ekkor a rendellenes sugár is követi a törőtörvények elsejét. Valahányszor ez beáll, azt tapasztaljuk, hogy a beeső sík vagy a törősík párhuzamos az ab átlóval (194. ábra), vagyis párhuzamos azon

194. ábra.



195. ábra.



átlósíkkal, mely a bc tengelyt tartalmazza; ezen átlósík ugyanis merőleges az $abde$ felületre, mert olyan bc vonalat tartalmaz, mely a db és be oldalakkal, valamint az ezen oldalak által képezett szöget felező ab vonallal egyenlő hajlású.

b) Képzeljük, hogy valamely rhomboeder cc tengelyének végénél (195. ábra) olyan abd felületet képezünk, mely merőleges a tengelyre. E felületre eső sugár mindig egy főmetszetben lesz, tehát a két megtört sugár mindig a beeső síkba esik. Ha az S beeső sugár a merőleges körül egyenes kúpot ír le, úgy az o és e megtört sugarak szintén egyenes kúpokat irnak le ezen egyenes körül; a miből látjuk, hogy a fényt-vezető közeg a tengelyre merőleges metszetekben egyenletesen el van terjedve.

Ha a beeső sugár az abd felületre merőleges, úgy csak egy megtört sugarat látunk, mely e felületre merőleges, vagyis párhuzamos a tengelylyel. Ezen irány tehát az által tünik ki, hogy benne kettőstörés nincs; ezt a jegec optikai tengelyének nevezzük. Brewster megmutatta, hogy az optikai tengely minden jegecben párhuzamos a jegec kristallographiai tengelyével.

E szerint tehát az optikai tengely nem vonalat, melynek a jegecben határozott fekvése van, hanem irányt jelent; úgy, hogy számtalan fénysugár hathatja át egyidejüleg a jegecet a tengely irányában.

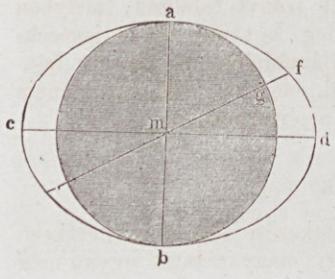
Ha a rhomboederjegecből oly prismát készítünk, melynek élei a tengelylyel párhuzamosak, úgy az ezen élekre merőlegesen beeső sugár oly két tört sugarat ad, melyek a beeső síkban vannak, és melyek a sinustörvényt követik. Ezen esetben tehát a rendes valamint a rendellenes sugárnak is van törőegyütthatója. Ezen eredmény a fönnebbiből következik, ugyanis abból, hogy a tengelyre merőleges metszetekben a fénytvezető közeg egyenletes, tehát e síkokban a fény sebessége minden irányban ugyanaz.

Jelöljük a rendes sugár törőegyütthatóját sárga fényre n_r-el, a rendellenesét n_e-vel, úgy az islandi spathra $n_r = 1{\cdot}654\,295$ és $n_e = 1{\cdot}483\,301$ és hegyi jegecre $n_r = 1{\cdot}547\,897$ és $n_e = 1{\cdot}557\,106$.

3. **Positiv és negativ jegecek.** — Az előbbi számadatokból láttuk, hogy az islandi spathban a rendes sugár törőegyütthatója nagyobb, mint a rendellenes-é. A hegyi jegecben pedig az ellenkezőt tapasztaljuk. Biot e különbséget a többi jegecben is tapasztalta, úgy, hogy az összes jegeceket e tekintetben két csoportra osztotta fel. Fresnel után azon jegeceket, melyekben a rendes sugár törőegyütthatója kisebb a rendellenesénél positiv, és a többieket negativ jegeceknek nevezzük.

4. **Következtetések.** — A leírt tüneményekből önként arra vezetnek, hogy feltételezzük, hogy a jegec molekularis szerkezete, és ezzel az aether sűrűsége és ruganyossága, nem minden irányban egyenlő. A fénysugár útja híven visszatükrözi az aether ruganyosságának változását, mivel a sugár útja a fény sebességétől függ az illető közegben, e sebesség pedig a közeg ruganyosságával változik.

196. ábra.



Ábrázolja ab a 196. ábrában valamely jegec optikai tengelyének irányát, ma és mb hosszak pedig a rendes sugár sebességét, mig mc és md a rendellenes sugár sebességét jelöljék, melylyel ez a tengelyre merőleges irányban terjed.

am a sugárral m körül írt kör ábrázolja akkor azon törvényt, mely szerint a rendes sugár m-től minden irányban az ábra síkjában tovább terjed.

Azon kerülék pedig, melynek kis tengelye ab és nagy tengelye cd, azon törvényt ábrázolja, mely szerint a rendellenes sugár sebessége az iránynyal változik. Igy például azon rendellenes sugár sebessége, mely a tengelylyel 60 fokot képez, azon mf vonal által lesz ábrázolva, mely ma-val 60 fokot képez. $\frac{mf}{mg}$ lesz a rendellenes és rendes sugár sebességeinek viszonya.

A hullámzó mozgás egyenletes közegben gömbalakban terjed, vagyis ilyen közegben a hullámfelület gömb. Ha a hullám nem egyenletes közegben terjed, úgy felületét a különböző irányban lévő különböző sebesség határozza meg. Igy az m-ből kiinduló rendes sugár hullámja az agb kört éri el egyidejüleg, míg a rendellenes fényhullám az afb kerületet; és ha az egész ábrát ab tengely körül forgatva képzeljük, úgy a körből származó gömb a rendes, és a kerülékből származó forgási kerülék a rendellenes sugár hullámfelülete. Könnyen belátható, hogy e forgási kerülék a jegec ruganyosságának változását a különböző irány szerint ábrázolja, azért e felület a ruganyosság felületének is neveztetik.

A negativ jegecekben az aether ruganyossága nagyobb a tengely irányában, mint minden más irányban; legkisebb a tengelyre merőleges irányban.

5. **Két-tengelyes jegecek.** — Az összes jegecek molekuláris szerkezetük szerint, hat osztályba oszthatók, melyek jegecrendszereknek neveztetnek. A szabályos rendszer jegecei, melyek alapalakjául a kockát vehetjük fel, három irány szerint teljesen egynemüek. E jegecek, mint például a folypát vagy kősó, nem mutatnak kettőstörést; hanem a fényt ép azon törvény szerint törik, mint a víz vagy üveg.

A quadratikus és hexagonal rendszer jegecei csak két irányban egyenletesek; a harmadik irányban, a tengely irányában, a molekülök elhelyezkedése eltér az előbbiektől. Az idetartozó jegecek mind kettőstörésüek. Minden beeső sugár két részre oszlik, egy rendes és egy rendellenes sugárra; csak a tengely irányában haladó sugár nem oszlik szét.

A többi három rendszerbe tartozó jegecek is kettős-törésüek, de e sugarak egyike sem rendes sugár, vagyis egyik sem követi a közönséges törő-törvényeket. Ezekben két irányt találunk, melyben kettős-törés nincs, és azért ezeket optikailag kéttengelyes jegeceknek nevezzük. A kéttengelyes jegecek hullámfelületei is két oly felületből állanak, melyek egymást beburkolják, de nem csak két, hanem négy pontban, a két tengely végpontjaiban, érintkeznek.

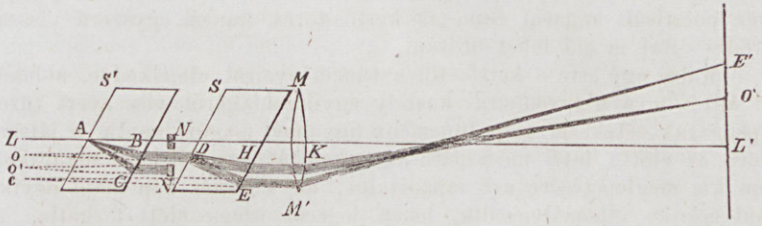
II. Polarisatió.

1. Huyghens, a fényről írt híres értekezése végén, a következő tüneményt azon megjegyzéssel írja le, hogy magyarázatát ugyan még

nem ismeri, de előtte oly fontosnak látszik, hogy a tudósok figyelmébe melegen ajánlja.

Az islandi spáth által képezett kettős sugár egyikét még egy ilyen jegecen átbocsátván, Huyghens azt tapasztalta, hogy e sugár majd ujra két részre oszlik, majd csak egyszerű törést szenved. A kisérletet a 197. ábrában jelzett módon eszközölhetjük. Az L köralakú szűk nyiláson át egy sugárnyalábot bocsátunk az S'C rhom-

197. ábra.



boederre, mely e sugárnyalábot két részre osztja : az ACN rendellenes sugár útját (majd a rendesét) az NN ernyővel elzárjuk, az ABD rendes sugár (illetőleg a rendellenes) elébe pedig a második jegecet teszszük. Az MM' gyüjtőlencse az innen kijövő egyszerű vagy kettős sugárnyalábot éles képekké egyesíti, melyeket az E'L' ernyőn fel lehet fogni.

Ha e két rhomboeder főmetszete párhuzamos, úgy sem a rendes, sem a rendellenes sugár a második jegec által két részre nem osztatik, hanem a rendes sugár a második jegecből mint rendes, a rendellenes mint rendellenes sugár kerül ki.

Ha a két főmetszet merőleges, akkor a második jegec szintén csak egyszerű törést idéz elő, különben az előbbi tüneménynek ellenkezőjét mutatván : a rendes sugár rendellenes, a rendellenes pedig rendes törést szenved a második jegecben.

A főmetszetek minden közbeeső helyzeténél a sugarak mindegyike kettős-törést szenved. Az egyes képek fényerőssége azonban a szerint változik, a mint a párhuzamos vagy merőleges helyzethez közeledünk. A két kép csak akkor egyenlő erős, ha a főmetszetek 45 fokú szöget képeznek.

E tüneményeket a következő módon is láthatjuk : ha ilyen jegecen át valamely világító testre, például csillagra nézünk, úgy általában két képet látunk. Ha e testet két ily jegecen át vizsgáljuk, úgy általában 4 képet látunk, melyek közül 2—2 az egyik jegec forgatásával elhomályosodik, míg a főmetszetek párhuzamos vagy merőleges állásával 2 egészen eltünik.

Newton 1717 körül e tünemények megmagyarázására fölvette, hogy az első jegecből jövő sugarak köröskörül nem egyformák, hanem különnemü oldalakkal bírnak, így például jobb- és baloldalukon más-

nemüek, mint fönt és lent; tehát olyanok, hogy egyes oldalaikon kiváló tulajdonságokkal birnak, mint a delej két sarkánál. Azért e sugarakat sarkokkal ellátott „polarisált“ sugaraknak nevezték.

E szerint polarisált fénysugár az olyan, mely az islandi spáthban majd a rendes, majd a rendellenes módon (a jegec állása szerint), töretik meg.

2. **Visszaverődés általi polarisatió.** — E definitión túl egy teljes évszázadig sem haladtak e kérdésben, míg Malus 1808-ban eredményes tanulmányai közepette azon fontos fölfedezést tette, hogy ilyen polarisált sugarat nemcsak kettős-törés, hanem egyszerű visszaverődés által is elő lehet állítani.

Malus egy este a kettős-törés tüneményeiről elmélkedve, ablakánál állt, hova a luxenburgi kastély egyik ablakáról visszavert tüzes napsugarak estek. E szép tünemény figyelmét magára vonta és játszadozva az előtte levő mészspáth-jegeceken át szemlélte a sugarakat. Nem kis meglepetésére azt tapasztalta, hogy a két kép majd egyike majd másika elhomályosodik, ha a jegecet szeme előtt forgatja. A visszavert napsugarak tehát majdnem teljesen azon tulajdonságot mutatták, mint a mészspáthból jövő sugarak. Malus azonnal felfogta a tünemény jelentőségét, mert belőle azt következtette, hogy a fény egyszerű törés által polarisálható; mely állítását igazolandó, azonnal hozzá fogott a bizonyító kisérletek végrehajtásához. A kisérletek a legszebben sikerültek.

Malus a különböző átlátszó testekről visszavert fénysugarakat vizsgálta meg a mészspáthtal és azt találta, hogy visszavert sugár csak akkor van teljesen polarisálva, ha a beeső sugár bizonyos, minden testre nézve állandó szög alatt esik a felületre. Igy például a vízről a 36 fok alatt visszavert sugár van teljesen polarisálva, mig az üvegnél e szög 35 fokot tesz; azaz e szögek alatt visszavert sugarak tökéletesen azon tulajdonságokkal bírnak, mint a mészspáthból eredő rendes vagy rendellenes sugár. Más szög alatt visszavert sugarak nincsenek teljesen polarisálva; a mészspáth forgatásánál ugyanis azon képek, melyeknek a mészspáth forgatásánál el kellene tünni, csak elhomályosodnak.

Malus azon szöget, mely alatt a visszavert sugár teljesen polarisálva van, az illető test polarisatió szögének nevezte.

3. **Brewster törvénye.** — Brewster 1815-ben igen nevezetes összefüggést talált a polarisatió szöge és az illető test törőegyütthatója közt. Ugyanis nagyszámu kisérleteiből kitünt, hogy a polarisatió szög tangense egyenlő a törőegyütthatóval. Hogy ha tehát valamely test polarisatió szögét i-vel, törőegyütthatóját n-nel jelöljük, úgy

$$\operatorname{tang} i = n$$

És ha az i szög alatt beeső sugár törőszögét r-rel jelöljük, úgy

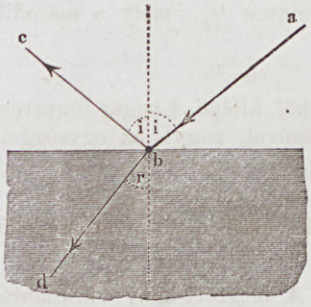
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \qquad \text{tehát}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \operatorname{tang} i = \frac{\sin i}{\cos i} \qquad \text{vagyis}$$

$$\sin r = \cos i$$

azaz: a törőszög a beeső szöget mindig 90 fokra egészíti ki. Hogy ha tehát a 198. ábrában ab akkép esik a felületre, hogy a visszavert bc sugár polarisálva van, úgy bc merőleges bd-re, a megtört sugárra.

197. ábra.



4. **A polarisatió síkja.** — Az első jegecből kilépő sugáron át az első főmetszettel párhuzamos síkot a sugárra nézve jellemzőnek tekinthetjük. Ha a második főmetszet a sugáron keresztül fektetett síkkal párhuzamos, úgy a fény mint rendes sugár megy át a jegecen; ha a főmetszet e síkkal szöget képez, úgy a sugár mindinkább kevésbbé mehet keresztül mint rendes sugár, és ha a főmetszet e síkra merőleges, úgy a polarisált sugár épen nem mehet a második jegecen keresztül mint rendes sugár. E síkra nézve a sugár teljesen symmetrikus; mert a mint a főmetszet e síkkal ugyanazon szöget képezi, akár az egyik, akár a másik oldalon, a második jegecből kiinduló rendes sugár egyenlő fényerősségü. E síkot a polarisatió síkjának nevezzük, az első jegecből kilépő rendes sugár a főmetszetben van polarisálva.

A rendellenes sugár e jellemző síkja, melylyel a második főmetszetnek párhuzamosnak kell lenni, hogy a sugár teljesen mint rendes sugár mehessen keresztül a második jegecen, — a rendes sugár síkjára merőleges; mert hogy az első jegecből kilépő rendellenes sugár a második jegecen mint rendes sugár mehessen keresztül, a két főmetszetnek egymásra merőlegesnek kell lenni. A fönnebbi elnevezés szerint tehát az első jegecből kilépő rendellenes sugár oly síkban van polarisálva, mely merőleges a jegec főmetszetére; s ennélfogva merőleges a rendes sugár polarisatió síkjára.

A mészspáth-jegecre eső fénysugár tehát két egymásra merőlegesen polarisált sugárra oszlik szét.

5. **A visszavert sugár a törő-síkban van polarisálva.** — Ha a visszavert sugarat akkép bocsátjuk át a rhomboeder-jegecen, hogy ennek főmetszete párhuzamos a törősíkkal, úgy csak a rendes kép mutatkozik; ha a jegecet forgatjuk, akkor a rendellenes kép mindinkább növekedő fényben tünik elő, míg, ha a főmetszet merőleges a törő-síkra, csak a rendellenes sugár látható. A visszavert sugár tehát tökéletesen úgy mutatja a tüneményt, mint ha olyan rhomboeder rendes sugara volna, melynek főmetszete párhuzamos a törősíkkal. Minthogy ilyen sugár a főmetszetben van polarisálva, mondhatjuk, hogy a visszavert sugár a törősíkban van polarisálva.

6. **Malus photometriai mérései.** — Ha az első jegecre eső sugár fényerősségét egységnek veszszük, úgy az első jegecből kiinduló rendes sugár fényerőssége $^1/_2$. Ezt a második jegec ismét két részre osztja O′ és E′-re. Malus photometriai mérések által bebizonyította, hogy ezek erőssége a következő:

$$O' = {}^1/_2 \cos {}^2\alpha, \quad E' = {}^1/_2 \sin {}^2\alpha$$

hol α a két főmetszet hajlásszöge.

Az első jegec rendellenes sugara szintén $^1/_2$, mely a második jegecben ilyen két részre oszlik:

$$O'' = {}^1/_2 \sin {}^2\alpha, \quad E'' = {}^1/_2 \cos {}^2\alpha$$

Ebből látjuk, hogy a második jegecből kilépő 4 sugár fényerősségének összege egyenlő a beeső fény erősségével, vagyis az egységgel; ugyanis

$$O' + E' + O'' + E'' = {}^1/_2 \cos {}^2\alpha + {}^1/_2 \sin {}^2\alpha + {}^1/_2 \sin {}^2\alpha + {}^1/_2 \cos {}^2\alpha = 1$$

Tehát a jegecben történő szétoszlás által a fény erősségéből semmit sem veszít.

7. **Törés általi polarisatió.** — A megtört fény vizsgálatánál Malus azt találta, hogy ez is részben polarisálva van, de polarisatió-síkja nem a beeső síkkal párhuzamos, mint a visszavert sugár-é, hanem erre merőleges. A két sugár tehát, a visszavert és a megtört sugár, két egymásra merőleges síkban van polarisálva.

Ebből tehát látjuk, hogy valahányszor a természetes fény bizonyos síkban polarisáltatik, egyidejűleg e síkra merőlegesen polarisált fénysugár is keletkezik. Továbbá Malus törvénye itt is áll, hogy a két, egymásra merőlegesen polarisált sugár fényerősségének összege tökéletesen akkora, mint azon sugár fényerőssége, melyből keletkeznek.

E szerint a polarisatió nem áll egyébből, mint a természetes fénynek két, egymásra merőleges componensre való szétbontásából.

Ebből kiindulva Fresnel a polarisatió tüneményeit, a tapasztalattal tökéletesen megegyezőleg, elméletileg levezette. Ezen elmélet alapeszméje a következő:

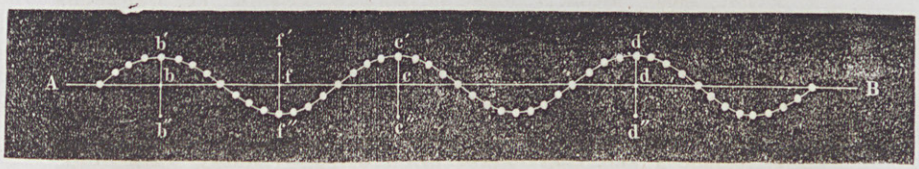
8. **A polarisatió magyarázata.** — Azon tény ismerete, hogy olyan fénysugarak is léteznek, melyek körüskörül nem birnak ugyanazon tulajdonsággal, a fényrezgések közelebbről való megismerését lényegesen előmozdította. Eddig a fénysugár hoszszában elterjedő aetherrészecseket rezgésben levőknek mondották, tekintet nélkül arra, hogy e rezgések a fény terjedésének irányában vagy arra merőlegesen mennek e végbe; vagy pedig, hogy a rezgések iránya bizonyos szöget képez-e a fény terjedésének irányával. A ferde irányú rezgést mindig két merőleges összetevőre bonthatnók szét, melyek egyike a sugár irányába esnék, másika pedig arra merőleges volna. E szerint a rezgések irányát illetőleg csak három lehetőség van: vagy csak hosszrezgések, vagy hossz- és keresztrezgések, vagy végre csak keresztrezgések vannak a fénysugárban.

Oly fénysugár, melyben csak hosszrezgések volnának, terjedési iránya körül tökéletesen egyenlő tulajdonságokat mutatna; miután ennek ellenkezőjét tapasztaltuk, e fölvétel nem helyes. A polarisatiót csak úgy magyarázhatjuk meg, ha keresztrezgéseket tételezünk fel. Mert ha felveszszük, hogy a fénysugár föl- és lemozgó aetherrészecsekből áll, úgy fölső és alsó oldala bizonyára különbözni fog jobb- és baloldalától.

Ha a fénysugárban a keresztrezgéseken kivül hosszrezgések is volnának, úgy e hosszrezgések ép úgy hatolnának át a második jegecen, mint az elsőn, bármily állása volna is a második jegecnek. Láttuk azonban, hogy ha a két jegec főmetszete merőleges, úgy a rendes sugár eltünik, és azon helyen, a hová e képnek esnie kellene, sem hő, sem chemiai hatás nem nyilvánul, míg másrészt Malus vizsgálata szerint a jegec sem absorbeálja a fényt — ebből okvetlenül azt kell következtetnünk, hogy a polarisált sugárban hosszrezgések nincsenek.

A polarisált fénysugarat tehát akkép értelmezhetjük, hogy az olyan sugár, mely irányára merőleges és egy síkban történő aetherrezgésből áll. Igy például a 199. ábrában minden részecske a papir síkjában és az AB vonalra merőlegesen rezeg, azért ez polarisált

199. ábra.



fénysugarat ábrázol. A sugár a papir síkjára, valamint az erre merőleges és AB-n keresztül menő síkra nézve symmetrikus; a kisérlet pedig azt mutatta, hogy a rajta keresztül fektetett, az első jegec főmetszetével párhuzamos síkra nézve symmetrikus, tehát ezen sík, a polarisatió síkja, vagy a rezgés síkjával esik össze, vagy erre merőleges.

Hogy a rezgés a polarisatió síkjában történik-e, vagy az arra merőleges síkban, azt kisérletileg eldönteni eddig még nem sikerült. Azonban, hogy a fogalmat megszilárdítsuk, Fresnel szerint felveszszük, hogy a rezgés a polarisatió síkjára merőleges. Az ábrában lerajzolt sugár polarisatió síkja tehát az AB-n keresztülmenő, a papir síkjára merőleges sík.

Hogy a természetes fényben sem lehetnek hosszrezgések, azt Malus photometriai méréseiből következtethetjük; miután azonban ilyen fénysugár minden oldalról egyenlő tulajdonságokkal bír, felveszszük, hogy itt a keresztrezgések gyorsan egymásután, a sugáron keresztül fektethető minden síkban történnek.

E szerint a polarisálás abban állana, hogy a természetes fény minden irányú rezgése két egymásra merőleges componensre bontatnék szét. A mészspáth-hoz érő fény tehát oly két componensre bontatik szét, melyek egyike a főmetszetben és másika erre merőlegesen végzi rezgéseit.

9. **E magyarázat kisérleti bizonyítéka.** — A polarisatió magyarázatára felvett hypothesis, mely szerint az aetherrezgések a fény terjedése irányára merőlegesek, Fresnel és Arago-nak a hypothesis felállítása után nem sokára sikerült kisérletileg fényesen igazolni. Ugyanis a polarisált fény interferentia-tüneményeit tanulmányozván, azt találták

1) hogy két polarisált fénysugár, melyek polarisatió-síkjai párhuzamosak, akkép interferálnak. Mindig ugyanazon fényerősséget adják, ugyanis a kettőnek összegét, bármily phasis-különbséggel is találkozzanak.

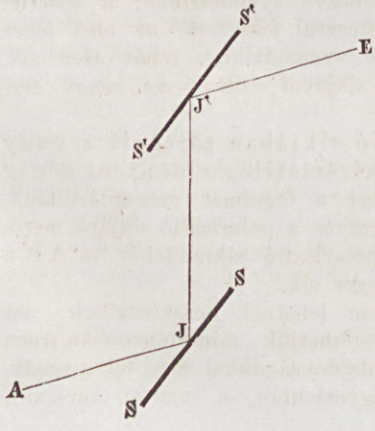
Az könnyen belátható, hogy két egymásra merőleges rezgés egymást meg nem semmisítheti, mert két egymásra merőleges erő mindig ad eredőt. Csak egymással párhuzamos erők semmisíthetik meg egymást, ha ellenkező irányuak. Fresnel és Arago kisérletei tehát mutatják, hogy a polarisált fény csak egy, a sugárra merőleges síkban történő rezgésekből állhat. — E tüneményeket a következő fejezetben fogjuk közelebbről megismerni.

III. A polarisált fény visszaverődése.

Ha a polarisált fényt üvegtükörrel felfogjuk, úgy az erről visszavert sugár a fényerősségben hasonló változásokat mutat, mint egy kettősen törő jegecből nyert sugár egy második jegecben.

Ha valamely AJ fénysugarat (200. ábra) 35 foknyi szög alatt bocsátunk üvegtükörre (SS), tehát úgy, hogy a beeső szög 55 fok legyen, akkor a JJ' visszavert sugár a beeső síkban van polarisálva; és ha az SS tükörrel párhuzamosan egy másik S'S' tükröt állítunk, úgy hogy a JJ' sugár e tükröt is 35 foknyi szög alatt találja, akkor a J'E visszavert sugár különböző fényerősséggel fog bírni, a második tükör helyzete szerint. Ha a tükrök síkjai összeesnek, mint az ábrában, úgy a J'E sugár fény erőssége legnagyobb. Ha azonban a második tükröt JJ' sugár körül, mint tengely körül forgatjuk, úgy hogy a két tükör mindinkább nagyobbodó szöget képezzen egymással (e mellett a JJ' sugár hajlási

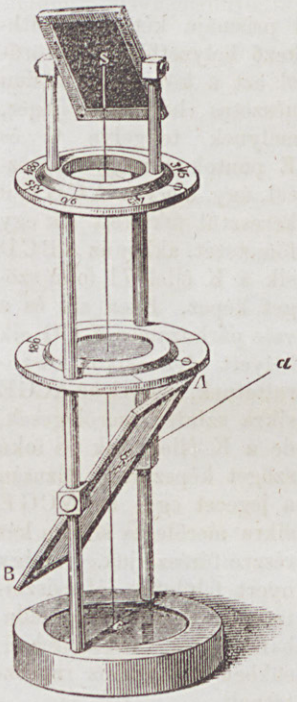
200. ábra.



szöge meg nem változik), akkor az E felé reflectált sugár fényerőssége kisebbedik; és ha a két tükör egymásra merőleges, úgy semmi fény sem veretik vissza.

Olyan készülék, mely a leírt kisérlet végrehajtására szolgál, polarisatió-készüléknek neveztetik. Legcélszerűbben van berendezve a Nörremberg-féle polarisatió-készülék (201. ábra). Eléggé súlyos kerek állványra két oszlop van alkalmazva, melyekhez az AB farámába foglalt tükörüveg van erősítve, úgy hogy vízszintes tengely körül forgatható legyen. Ha e tükröt oly állásban erősítjük meg, melyben a függélylyel 35 fokú szöget képez, úgy a 35 fok alatt ráeső *ab* fénysugár egy része az üvegen áthatol, és másik része a *bc* függélyben lefelé fog megtöretni. E sugár polarisálva van.

201. ábra.



Az állványra egy közönséges üvegtükör vízszintesen van alkalmazva, mely a merőlegesen ráeső *bc* sugarat *cb* irányban visszaveri, úgy hogy ez másodszor esik az AB üveglapra, mely legnagyobb részét átbocsátja, és csak kis része reflectáltatik *ba* felé. A keresztül hatoló sugár a készülék legfelsőbb részén, két kis oszlopra erősített tükörre esik; e tükör, mely vagy fekete üvegből készül, vagy hátsó lapján van befeketítve, szintén vízszintes tengelye körül forgatható.

A két nagyobb oszlop fokokra beosztott gyűrűt tart; ezen osztályzat 0 pontja akkép áll, hogy ha a 0 és a 100 fokot jelölő osztóponton függélyes síkot képzelünk fektetve, úgy e sík az AB tükör törősíkjával, vagyis a *cs* sugár polarisatió síkjával, összeesik. A két kisebb oszlop az e gyűrűn forgatható kisebb gyűrűn áll, mely mutatóval van ellátva. E mutatón és a gyűrű középpontján keresztül fektetett függélyes sík a fölső tükör törősíkjába esik. Ha az *s* tükröt a gyűrűvel addig forgatjuk, míg a mutató a 0 pontra mutat, úgy a két tükör törősíkja összeesik; valamint akkor is, ha a mutató 180 fokra mutat. Ha ellenben 90 fokra mutat, mint az ábrában, vagy 270 fokra, úgy a két tükör törősíkja egymásra merőleges.

A készülék közepe táján egy második gyűrű van alkalmazva, mely forgatható üveglap által van befödve. Ezen üveglapra tétetnek a polarisált fényben megvizsgálandó testek.

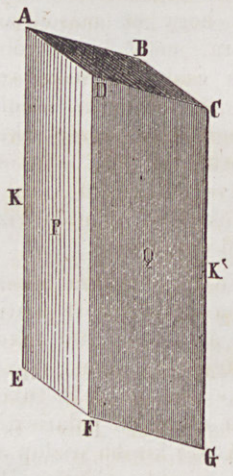
IV. Egytengelyes jegecek, mint polarisatió-készülékek.

1. Egytengelyes jegecből kiinduló mindkét sugár tökéletesen van polarisálva, azért e jegeceket legcélszerűbben alkalmazhatjuk polarisált fény előállítására. A visszaverődés és törés által polarisált fény csak ritkán van tökéletesen polarisálva.

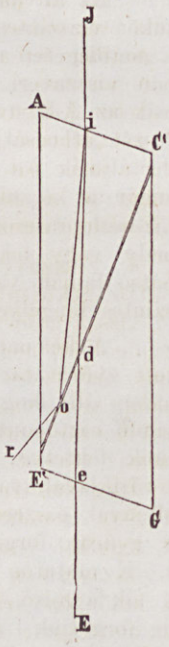
A legtöbb esetben azonban a kettős sugár, melyet a jegecek adnak, kényelmetlen, azért különböző módon igyekeztek az egyik sugarat a láttérből eltüntetni, ez Nicolnak a következő módon sikerült.

2. **A Nicol-féle prisma.** — Nicol prismája két mészspáth-prismából áll, melyek párhuzamos, de ellenkező helyzetben lévő törőélekkel vannak egymáshoz ragasztva. Nicol ezt a következő módon állította elő. Ha A G (202. ábra) egy természetes rhomboeder-jegec, melynek tengelye C és E pontokon megy keresztül, úgy, hogy az A C G E-n keresztül fektetett sík egy főmetszet, akkor az A B C D sík a K éllel 71 fokú szöget képez. Ezen sík és a vele párhuzamos E F G sík helyett olyan síkok köszörültetnek, melyek az A C G E síkra szintén merőlegesek, de a K éllel csak 68 fokú szöget képeznek. Ezután a jegecet egy, az A C G E síkra merőleges síkban két részre fürészeljük. Az így nyert felületek jól csiszoltatnak, és azután canadabalzsammal eredeti fekvésükben egymáshoz ragasztatnak.

202. ábra.



203. ábra.

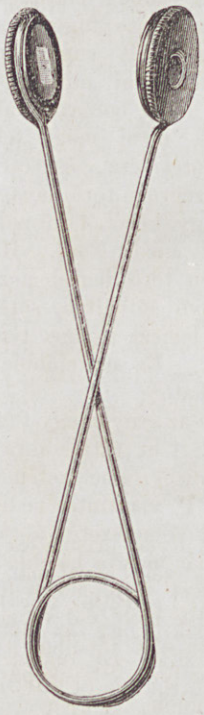


Ha ilyen prisma csiszolt felületére K-val párhuzamos J *i* (203. ábra) sugár esik, úgy az két részre oszlik: *i o* rendes- és *i d* rendellenes sugárra. Az első, melynek törőegyütthatója (1·6585) nagyobb, mint a canadabalzsam-é (1·53), erre oly ferdén esik, hogy tökéletes reflectio által oldalt visszaveretik. A rendellenes sugár ellenben, mely a mészspáthban gyorsabban terjed, mint a canadabalzsamban, áthatol, és *e* E irányban, mint tökéletesen polarisált fénysugár, hagyja el a prismát.

Természetes, hogy e prismát, mint a polarisált fény megvizsgálására szolgáló készüléket, is használhatjuk. Ha a Nicol-féle prismára, vagy — a mint röviden nevezni szokás — a nicolra természetes fény esik, akkor a keresztül hatoló fény erőssége ugyanaz marad, bármikép forgatjuk is a prismát. Ha ellenben polarisált fény esik rá, úgy ez csak úgy megy teljesen keresztül, ha a nicol főmetszete a rezgéssíkjával párhuzamos; de ha a nicolt forgatjuk, úgy az átbocsátott fény mindinkább gyengül, mig egészen elenyészik, ha a főmetszet a sugár rezgéssíkjára merőleges.

3. **A turmalin.** — A turmalin azon különös tulajdonsággal bír, hogy a rendes sugarakat absorbeálja és csak a rendellenes sugarakat, melyek polarisatiósíkjai a tengelyre merőlegesek, bocsátja keresztül. E tulajdonságánál fogva tehát e jegec különösen alkalmas polarisatió-készülékül.

204. ábra.



E célra a turmalin-jegecből két lapot kimetszünk, melyek felületei a jegec tengelyével párhuzamosak, és parafára erősítve, többször meghajtott erős sodronyba fogjuk, úgy, hogy az a 204. ábrában látható fogó-alakot nyeri. A sodrony ruganyosságánál fogva a két lapot egymás fölé lehet helyezni.

E polarisatiókészülék azon hátránynyal bír, hogy a jegec sötét szinénél fogva, a rendellenes sugarak is nagy mértékben gyöngíttetnek, és kevéssé szineztetnek.

4. **A visszaverődés és törés általi polarisatió alkalmazása.** — A polarisatió, melyet a visszaverődés okoz, annak meghatározására szolgálhat, hogy valamely testről érkező fény saját fény vagy pedig visszavert fény-e. Igy például Arago meghatározta, hogy a holdról ferdén hozzánk érkező fény polarisálva van. A polarisatió tökéletesebb a mélyedésekből jövő fénynél. Ugy szintén az üstökösök fénye is polarisált fény; a miből következtethetjük, hogy fényüket, legalább részben, a naptól nyerik.

A visszavert és megtört fény polarisatiósíkjainak különböző irányait Aragó felhasználta a tenger alatti szirtek megvizsgálására; mert ezek a visszavert fény miatt nehezen ismerhetők fel. E célra elegendő a szem előtt turmalint, vagy Nicol-féle prismát tartani, melynek főmetszete függélyes. Igy a visszavert sugarak megsemmisülnek és csak a szirtből érkező fény, mely a víz által megtöretik, hatol a szembe.

HARMADIK FEJEZET.

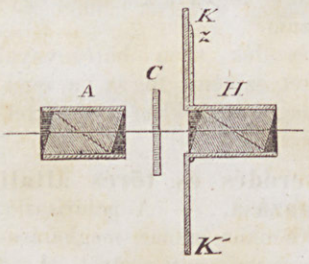
Interferentia kettőstörés által.

I. Párhuzamos sugarak.

1. **Kisérlet.** — A kettőstörés csak kevés jegecben oly feltünő, mint a mészspáthban; a legtöbb esetben a két terjedési sebesség közt oly csekély a különbség, hogy a beeső fénysugárnak két részre való osztása csak igen vastag jegecekben észlelhető közvetetlenül. De azon körülmény, hogy a kettőstörés által származó sugarak polarisálva vannak, módot nyujt a leggyengébb kettőstörés megvizsgálására.

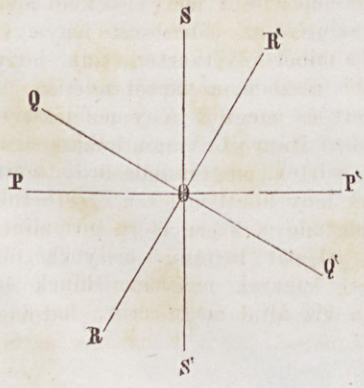
Polarisatió-készülékül két Nicol-féle prismát alkalmazunk, A és H-t (205. ábra), melyek vízszintesen egymás mögött vannak felállítva.

205. ábra.



Az első, melynek főmetszete függélyes, függélyesen rezgő polarisált sugarakat nyujt, melyek a második által, minthogy főmetszete vízszintes, nem bocsáttatnak keresztül. A második nicol mögé felállított ernyő tehát sötét lesz, és sötét marad akkor is, ha egyszerüen törő anyagból, például üveg- vagy kősóból készült lemezt tartunk a két nicol közé. Ha ellenben C-hez kettősen törő jegeclemezt teszünk, úgy az ernyő fölváltva sötét és világos lesz, ha a lemezt a jegec tengelye körül forgatjuk. Ez az előbbiek szerint könnyen belátható:

206. ábra.



Képzeljünk az ernyőn egy függélyes vonalat SS'-et (206. ábra), úgy ez az első nicol főmetszetének fekvését adja; PP' vízszintes pedig a második nicol főmetszetét ábrázolja. Tegyük már most a két nicol közé a jegeclemezt úgy, hogy főmetszete a második nicoléval összeessék. Ekkor az első nicolból kilépő sugarak, melyek SS'-el párhuzamosan rezegnek, a jegecben csak egyszerüen töretnek meg, anélkül, hogy rezgési irányuk megváltoztatnék; s így a második nicol által ismét megsemmisíttetnek. Ugyanez történik, ha a lemez főmetszete az

első nicol főmetszetével SS'-el összeesik, mert ekkor az összes fény, mint rendellenesen tört sugárnyaláb hagyja el a lemezt, mialatt eredeti rezgésüket megtartják. Ha azonban a lemez főmetszetét RR' helyzetbe hozzuk, úgy az csak olyan rezgéseket bocsáthat keresztül, melyek RR' irányban, vagy arra merőlegesen QQ' irányban mennek végbe. Az első nicolból jövő sugár már most teljesen, sem mint rendes, sem mint rendellenes sugár a jegecet át nem hatolhatja, mert SS' rezgési iránya ferde az RR' főmetszetre. E rezgés, a mozgási törvények szerint, két componensre bomlik, melyek egyike RR' irányban a rendellenes sugarat, és másika erre merőlegesen QQ' irányban a rendes sugarat képezi.

A második nicolhoz tehát két sugár érkezik, melyek egyike RR' irányban és másika QQ' irányban végzi rezgéseit. Minthogy e nicol csak PP' irányú rezgéseket bocsát keresztül, azért e két sugár mindegyike ismét két componensre bomlik, PP' és SS' irányúakra. Az SS' irányú componensek ismét elenyésznek, mig a PP' irányúak áthatolnak és az ernyőt megvilágítják.

Látjuk tehát, hogy kettősen törő lemez két, keresztben álló nicol között majd megvilágítja, majd elsötétíti a láttért. A sötétség két esetben marad meg, t. i. ha a jegec főmetszete az egyik vagy másik nicol főmetszetével összeesik; különben a láttér világos. E tünemény, fontos következményein kivül, valamely jegec kettőstörő tulajdonságának felderítésére szolgálhat.

A két részletsugár közül, melyek a PP' síkban rezegve hagyják el a második nicolt, az egyik a rendes, a másik pedig a rendellenes sugárból származik; a kettő tehát különböző sebességgel halad a jegecben. Az egyik elmarad a másiktól, és pedig oly úthoszszal, mely annál nagyobb, minél vastagabb a lemez. A kettőstörés által így előidézett menetkülönbségnél fogva a két sugár, mely ugyanazon síkban van polarisálva, interferál. Ezen interferentia, ha a menetkülönbség nem igen nagy, gyönyörü szinváltozásokat idéz elő.

A gipsz igen alkalmas ezen kisérletekre, mivel tetszés szerinti vékony lemezekre hasítható. Ha ilyen vékony lemezt a két keresztben álló nicol közé teszünk, úgy a lemez fönt jelzett két állásánál az ernyő sötét marad, t. i. ha a jegeclemez főmetszete az egyik nicol főmetszetével összeesik. Minden más helyzetben szines fény mutatkozik, mely fény legélénkebb, ha a lemez főmetszete az első nicol rezgési irányával 45 fokú szöget képez. A lemez bizonyos vastagságánál e helyzetében gyönyörü vörös szín mutatkozik, mely a PP' síkban rezgő két részlet-sugár egymásra gyakorolt hatásából ered.

Ha a második nicolt forgatjuk, úgy az ernyő világos marad, de a színezet élénkségéből veszít, és végre tökéletesen fehér lesz, ha a két nicol főmetszete 45 fokú szöget képez egymással. Ha a forgatást folytatjuk, úgy zöldes szín mutatkozik, mely élénk zöldbe megy át, ha a két nicol főmetszete párhuzamossá vált. Ezen szín az SS' síkban rezgő részletsugarak hatásából ered.

E két szín, melyet a gipszlemez a nicolok kereszt- és párhuzamos állásában mutat, complementär-szín; ha a lemez vastagsága olyan, hogy párhuzamos állásnál kék színt mutat, úgy kereszt állásban olyan sárgát mutat, mely azon kékhez complementär-szín. Erről a következő módon győződhetünk meg.

A második nicol helyébe közönséges mészspáthjegecet teszünk, úgy hogy főmetszete párhuzamos legyen az első nicol főmetszetével. Ezen egyidejüleg a PP' és az SS' irányban rezgő sugárpár megy keresztül; az első rendesen, a második rendellenesen töretik meg. Most mindkét képet egyszerre látjuk az ernyőn, a vöröset és zöldet, melyek egymást részben födik. A két kép közös tere, melyben a színek keverődnek, fehér.

2. **Elmélet.** — Képzeljük, hogy egy polarisált sugár a tengelyével párhuzamosan hasított jegeclemezre merőlegesen esik. Legyen PP' (206. ábra) a polarisált sugár rezgéssíkja, és QQ' a lemez jegectengelye. A beeső sugár a jegec által két componensre bontatik, melyek egyike QQ' és másika RR'-el párhuzamos rezgéseket végez. Azon pillanatban, a midőn az O-nál lévő aetherrészecske a beeső sugár által OP irányú impulsust nyer, a két componens mozgási iránya OQ és OR. E két sugár a jegecben különböző sebességgel terjed. Az OQ irányban terjedő sugár hullámhoszsza nagyobb, mint a másiké. Legyen a lemez vastagsága akkora, hogy a belsejében terjedő első sugárban m és a másodikban n hullám van, hol m és n egész számok, és n nagyobb mint m, úgy a két sugár $n - m$ egész hullámkülönbséggel, azaz phasiskülönbség nélkül hagyja el a jegecet; tehát a rezgések a kilépésnél egyidejüleg O-tól R és Q-felé mennek végbe. Minthogy innen tovább a sugarak terjedése ugyanazon irányban ugyanazon sebességgel történik, azért az aether mozgása mindkét sugárban egyidejüleg Q és R-felé vagy Q' és R'-felé történik.

Innen a sugarak oly nicolba érnek, mely akkép van állítva, hogy a belőle kilépő sugár PP'-el párhuzamos rezgésekből áll. E prismában a két sugár OQ és OR, mindegyike két componensre bontatik, melyek egyike OP és másika OS irányban rezeg. Az utóbbiak a nicol ezen állásánál elvesznek; az elsők egy síkban vannak polarisálva, és hatásuk a két componens összegével lesz egyenlő.

Ha a lemez vastagsága más, úgy az egyik sugár a másikát más úthoszszal hagyja el; ha a sebességkülönbség által elért phasiskülönbség például egy félhullám, úgy a két componens akkép lép ki, hogy az egyik rezgése OQ és a másiké OR' irányban megy végbe. Innen tovább akkép terjednek, hogy a mozgások mindig egyidejüleg Q és R' vagy Q' és R-felé vannak irányítva. A nicolban a sugarak mindegyike PP'-be eső componenst ad, és pedig úgy, hogy a QQ'-ből származó componens OP-felé, ha az RR'-ből származó OP'-felé tart és megfordítva. A közös polarisatiósikban tehát a két sugár félhullámhossz-phasiskülönbséggel interferál, mely különbség a jegec vastagságából származik.

De ha a második nicol, mely a lemezből érkező sugarakat felfogja, akkép áll, hogy csak SS'-el párhuzamosan rezgő sugarakat bocsát keresztül, úgy más körülmény lép fel. A jegeclemezből phasiskülönbség nélkül kilépő sugarak, melyek egyidejüleg OQ és OR-felé rezegnek, az SS' irányban olyan componenseket adnak, melyek egyike OS és másika OS'-felé tart. E componensek tehát ellenkező phasisban vannak, azaz csupán a szétbontás következtében félhullámhossznyi phasis-különbség van közöttük. Az interferentia meghatározására tehát a jegecben a sebességkülönbségből származó útkülönbséghez még egy fél hullámhosszat kell adni.

Hogy ha tehát a lemez olyan vastag, hogy az egyik sugár a másikat, például a vörös fény három félhullámhosszszával, elhagyja, úgy e színnek párhuzamos nicoloknál el kell tünni, míg a zöld, mely színre nézve két egész hullámhossz a különbség, teljes fényben ragyog. Ha a nicolok keresztállásban vannak, úgy minden sugárnem útkülönbségéhez egy fél hullámhossz hozzá járul; tehát ekkor a vörös sugarak phasiskülönbsége két egész hullám, és a zöldeké öt félhullám, minélfogva a zöld szín tünik el és a vörös éri el legnagyobb fényerősségét. Ezekből látjuk, hogy az így keletkezett zöld szín a vörös színnek complementär-színe.

Hogy a színezet legélénkebb, ha a lemez főmetszete az első nicol főmetszetével 45 fokú szöget képez, könnyen belátható; ekkor ugyanis a két összegező componens egyenlő fényerősségü és így az interferentia, mely által a színek keletkeznek, legtökéletesebb.

II. Összehajló sugarak.

Az előbbiekben csak azon esetet vettük szemügyre, melyben a polarisált sugarak párhuzamosak, azaz a lemezben valamennyi egyenlő utat tesz meg. Most megfogjuk vizsgálni azon esetet, melyben a tengely a lemezre merőleges. Ha sugárkúpot bocsátunk ilyen lemezre, úgy a tengelytől távolabb eső sugarak nagyobb utat tesznek meg a lemezben, mint a közelebb levők, ennek következtében az előbbi módon képezett színezet nem lehet egyenletes.

Ha valamely közönséges lencse által összegyűjtött polarisált sugárnyaláb tengelyére merőlegesen csiszolt lemezre esik, úgy igen meglepő tünemény mutatkozik.

A lencse által alkotott sugárkúp azon sugara, mely a lemezre merőlegesen esik, a tengely irányában halad, tehát kettős-törést nem szenved. De a többi sugár annál erősebb kettős-törést szenved és annál nagyobb utat tesz meg a lemezben, minél ferdébb. Azért a menetkülönbségek annál nagyobbak, minél közelebb jövünk a lemez széléhez. Minthogy a tengely körül egyenlők azon körülmények, melyek az útkülönbséget előidézik, ugyanis a kettős-törés erőssége és az úthossz, azért a sugárkúp tengelye körül írt körökben az útkülönbségek egyenlők. Ezekből már most belátható, hogy nem nyer-

hetünk a lemez vastagságának megfelelő egy színt, hanem concentricus színes gyűrűk rendszerét nyerjük, melyek hasonlók a Newton-féle gyűrűkhez.

Ha a polarisatió-készülékben a két főmetszet keresztben áll, úgy a gyűrűrendszer fekete kereszt által négy egyenlő részre van osztva, mint ezt a 207. ábra mutatja. Ennek keletkezése könnyen

207. ábra.



208. ábra.



megmagyarázható. Minthogy ugyanis a lemez felülete merőleges az optikai tengelyre, azért minden a középponton keresztül fektetett sík főmetszet; így a 206. ábrában SS', PP', RR' és QQ' főmetszeteket ábrázolnak. A polarisatorból jövő sugarak SS'-el párhuzamosan rezegnek, tehát merőlegesen PP'-re; ennélfogva a lemezen szétbontás nélkül mennek keresztül, míg a polariskopon, melynek rezgési síkja PP', nem mennek keresztül. Így fekete kereszt származik, melynek karjai a polarisatió-készülék két rezgési síkjával párhuzamosak. Minden más főmetszetben, például RR'-ben, melynek rezgési síkja a polarisator rezgési síkjával hegyes szöget képez, a sugarak szétbontatnak, RR' és egy arra merőleges irányra, melynek PQ-felé rezgő componensei egymással interferálva, a gyűrűrendszert alkotják.

Ha a polarisatió-készülék két rezgési síkja párhuzamos, úgy az előbbiek alapján könnyen átlátható, hogy a gyűrűk színezete az előbbiekhez complementär lesz, és a fekete kereszt helyett fehéret nyerünk, mint a 208. ábra mutatja.

E tüneményt legegyszerűbben észlelhetjük, ha az illető lemezt a turmalin-fogó közé szorítjuk, és mialatt a készüléket közel a szemhez tartjuk, — hogy a beeső sugarak különböző irányuak legyenek — a világos égre vagy más világos lapra nézünk. De sokkal tisztábbak a színek a Nörremberg-féle polarisatió-készülékben; e célra a lemezt-tartó üveglap fölé és alá lencsét kell alkalmaznunk.

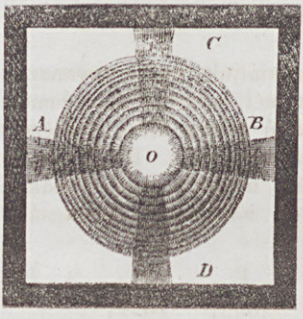
NEGYEDIK FEJEZET.

A polarisatió síkjának forgatása.

I. Kettős-törés a quarzban.

Egytengelyes jegecekből a tengelyre merőlegesen metszett lemezek, keresztben álló nicolok közt, fekete kereszttel átmetszett gyűrűrendszert mutatnak; az idom közepe mindig sötét, bár mekkora is legyen a lemez vastagsága. Ebből azonban egy jegec kivételt képez, és ez a quarz. Ha ugyanis a tengelyre merőleges quarzlemezt polarisatió-készülékben vizsgálunk, úgy a 209. ábrában lerajzolt alakot nyerjük; a gyűrűk a középponttól csak bizonyos távolságban kezdődnek, a meddig nem sötét, hanem világos körsík van; ennek megfelelőleg a keresztnek csak négy ága van meg. Fehér fény alkalmazása mellett a középső rész mindig élénken van színezve.

209. ábra.



Ott a hol a gyűrűk kezdődnek a színváltozás tökéletesen egyenlő a többi jegecével, úgy, hogy kivétel csak a tengelylyel majdnem párhuzamos sugaraknál mutatkozik.

Ha a második nicolt forgatjuk, úgy azt találjuk, hogy egy állásban sem sötét vagy fehér a középső körsík, hanem mindig színes; a szín azon szögtől függ, melylyel a nicol a keresztállásból elforgattatott. A színek sorrendje a forgatás alatt a következő: vörös, narancs, sárga, zöld, kék és viola; tehát azonos a spectralszínek sorrendjével. E színek azonban nem tiszta spectral-színek, a miről egyszerűen meggyőződhetünk, ha prisma által szétbontjuk. Ezáltal egyszersmind igen fontos tény ismeretére vezettetünk.

Ha ugyanis a quarzlemez által előidézett színt, például a zöldet a prismára bocsátjuk, úgy teljes színképet nyerünk, melynek vörös része hiányzik, ugyanis a vörösben majdnem teljesen sötét csíkot találunk; e színképben a narancs és sárga még gyönge, míg a zöld és kék igen élénk. Ha már most a nicolt forgatjuk, úgy nem találunk oly feltünő színváltozást, mint a prisma nélkül, hanem csak azt, hogy a sötét csík azon mértékben közeledik a színkép viola végéhez, a mely mértékben a nicolt forgatjuk, úgy, hogy rendre az egymásután következő színek eltünnek a spectrumból. Ebből tehát látjuk, hogy azon színek, melyek előbb a prisma nélkül mutatkoztak, valamennyi szín keverékei egy hijával; vagyis, hogy a quarz

mindig csak egy színt semmisít meg, mely szín a nicolok állásától függ.

A nicol csak olyan sugarakat semmisíthet meg, melyek főmetszetére merőlegesen rezegnek. Mielőtt a quarzlemezt a keresztben álló nicolok közé teszszük, a láttér sötét, mert a második nicolhoz érő sugarak főmetszetére merőlegesen rezegnek. Ha a quarzlemezt (például 3·75 milliméter vastagságut) a nicolok közzé teszszük, úgy a második nicolt 60 fokkal kell elforgatni a keresztállásból, hogy a vörös sugarak eltünjenek, a mit abból tudunk meg, hogy a spectrum vörös részén van a sötét csík. A vörös sugarak rezgési iránya ennélfogva merőleges a nicol főmetszetének jelen állására. A vörös sugarak tehát a quarz hatása alatt 60 fokkal lettek elforgatva eredeti, a többi sugarakkal közös rezgési irányuktól. Hasonló módon találjuk, hogy a sárga sugarak 90 fokkal, a violák pedig 165 fokkal lettek elforgatva.

A quarzlemez hatása tehát abban áll, hogy a *polarisált sugár rezgési síkját bizonyos szöggel elforgatja*, mely szög minden színre különböző, és annál nagyobb, minél nagyobb a fény rezgési száma.

Különböző vastagságú lemezeknél azt találjuk, hogy ugyanazon homogen szín forgatása annál nagyobb, minél vastagabb a lemez. Hogy ha tehát csak egy, bizonyos vastagságú lemez által előidézett forgatást ismerünk, azt más lemezekre kiszámíthatjuk. *Broch* nagy pontossággal meghatározta a forgatás szögét, melynél a sötét csík a legfőbb Frauenhofer-féle vonalakra esik; 1 milliméter vastagságú quarzlemezre a következő értékeket találta :

B	C	D	E	F	G
15·30°	17·24°	21·67°	27·46°	32·50°	42·20°

A színek sorrendje szerint kétféle quarzot kell megkülönböztetnünk. Ugyanis némely quarzoknál a fönt adott sorrendben tünnek elő a színek, ha a nicolt balról jobbfelé forgatjuk, másoknál pedig akkor, ha a nicolt jobbról balfelé forgatjuk; e szerint a quarzot *jobbra forgatónak* vagy *balra forgatónak* nevezzük. Mindkét neme a quarznak egyenlő vastagság mellett egyenlő mértékben forgatja el a színeket, csakhogy az egyik jobbra a másik balra.

Hogy melyik quarz jobbra és melyik balra forgató, azt már a jegecalakról lehet megitélni, ha teljesen ki van fejlődve.

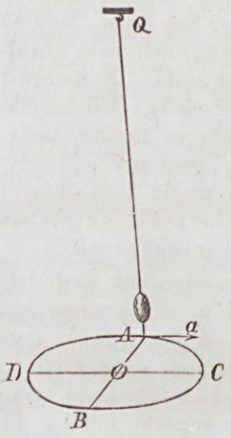
II. Circulár polarisatió.

Az imént leírt tünemények magyarázására új rezgési nemmel kell megismerkednünk; s valamint a közönséges rezgés törvényeinek megértését megkönnyítette az inga lengésének vizsgálata, úgy itt is az ingának szemmel látható mozgásából megyünk át a láthatatlan részecsek rezgésére.

1. Az inga lengése két egymásra merőleges impulsus hatása alatt. — A 210. ábrában látható inga nyugváskor az O pontra mutat; az asztalon megjegyzett O ponton át két egymásra merőleges vonalat húzunk, AB és CD-t. Ha az ingát AB irányában indítjuk meg, úgy épen azon idő alatt teszi meg lengéseit, mint CD irányában.

Vizsgáljuk meg, hogy az inga milyen mozgást fog követni, ha mindkét irányban nyer impulsust. Azon pillanatban, midőn az AB irányban lengő inga A-hoz ér, CD irányban lökjük meg; ha az Aa irányú lökés épen akkora, hogy az ingát, nyugvó helyzetéből oly OC távolságba vinné, mely akkora mint OA, úgy e két erő befolyása alatt az ACBDA kört fogja leírni.

210. ábra.



A második lökést Aa-t akkor közöltük volt az ingával, a midőn O-tól számítva OA utat leírta, vagyis a mikor AB irányban már egy negyed rezgést megtett. Ebből látjuk, hogy két egymásra merőleges, egyenes-vonalú lengés körmozgást eredményez, ha a két lengés phasiskülönbsége egy negyed lengés.

Jelen esetben, a midőn az AB irányú lengés a másikat a negyed lengéssel elhagyta, a mozgás balról jobbfelé megy végbe: ha ellenben a DC irányú lengés indul meg először, és C pontnál lökjük meg az ingát BA irányában, úgy a mozgás ellenkező lesz, ugyanis jobbról balfelé; tehát a körmozgás ellenkező irányúvá válik, ha a második lengés hagyja el az elsőt egy negyed hullámhoszszal. Azon idő, mely alatt az inga a kört befutja, akkora mint a hoszszának megfelelő lengési tartama.

Ha az A-nál gyakorolt lökés erősebb, mint előbb, úgy, hogy OC-nél nagyobb távolságra lenditené az ingát, úgy ez ellipsisben mozog, melynek kis tengelye AB, és ha a lökés kisebb, a mozgás oly ellipsisben megy végbe, melynek AB a nagy tengelye. O és A vagy O és B között gyakorolt lökések szintén elliptikus mozgásokat létesítenek, melyeknek tengelyei azonban már nem esnek AB és CD irányba.

Ha az OC irányú lökést azon pillanatban gyakoroljuk, melyben az inga O pont fölött halad, úgy ismét egyenes-vonalú mozgást vesz fel, de nem OA, sem OC irányban, hanem egy közbe eső irányban; ez esetben a két lengés phasis-különbsége vagy semmi, vagy egy fél lengés.

2. Kör- és elliptikus fényrezgés. — Az ingán megismert mozgásnemet követik az aether-részecsek is, a keskeny jegeclemezekben történő kettős-törés alkalmával. Fönnebb láttuk, hogy ha vala-

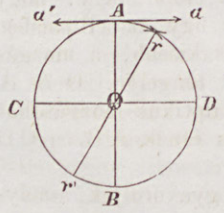
mely polarisált fénysugarat akkép bocsátunk keskeny jegeclemezre, hogy a sugár polarisatió-síkja 45 foknyi szöget képez a lemez főmetszetével, úgy két egyenlő fényerősségü sugár hagyja el a lemezt, melyek egyike RR', s másika QQ'-el ábrázolható síkban végzi rezgéseit (l. 206. ábra, 232. old.). Azon O pontban lévő aetherrészecske tehát, melynél a sugár a lemezt elhagyja, két egymásra merőleges impulsust nyer, tehát kör-, elliptikus- vagy egyenes-vonalú mozgást nyer a szerint, a mint az egyik irányú rezgés, a jegecben leírt úton át, elhagyja a másikat.

Ha például olyan vastagságú lemezt veszünk, mely az egymásra merőlegesen rezgő sugarak közt a sárga fénynek negyed hullámhosszával egyenlő phasiskülönbséget létesít, míg O-hoz érnek, úgy az O-nál lévő aether-részecske köralakú mozgást követ, melynek körülforgási ideje a sárga fény rezgési tartamával egyenlő. E mozgást követik az egész sugár hoszszában lévő aetherrészecsek is. Mindegyik, mozgását valamivel később kezdve az előbbinél, körben mozog, melynek síkja a sugár irányára merőleges. Ha valamennyi pont egyidejü helyzetét görbe vonallal összekötve képzeljük, úgy a sugár körül húzott csavarvonalat nyerünk. Ilyen sugarat körben polarisált sugárnak nevezünk, és a polarisatió e nemét circulár polarisatiónak.

A például felhozott jegeclemez csak a sárga sugárnak megfelelő negyed-hullámnyi phasiskülönbséget idéz elő; ez a vörös sugarakra nézve valamivel kisebb, és a kékre nézve nagyobb. A lemez tehát csak a sárga sugaraknak adhat tökéletesen köralaku mozgást, és a többieknek ettől többé-kevésbbé eltérő elliptikus mozgást ad. Minthogy azonban ezen eltérések igen csekélyek, az egész fehér sugarat körben polarisált sugárnak vehetjük fel.

3. **Két ellenkező irányú körrezgés összetétele.** — Ha az AB irányban lengő ingára az A pontnál nem csak A*a* irányban, hanem vele egyenlő ellenkező irányú A*a'* lökést is gyakorolunk (150. ábra), úgy világos, hogy a két lökés egymást ellensúlyozván, az inga AB-ben fog tovább mozogni. De ha a két egyenlő ellenkező irányú lökés nem egyidejüleg működik, hanem a második csak akkor következik be, a midőn az inga az első lökés következtében már *r*-ig ért, úgy könnyen belátható, hogy a két egyenlő, de ellenkező irányú erő ismét megsemmisíti egymást, és az inga *r r* egyenes irányában végzi lengéseit.

211. ábra



Ebből látjuk, hogy valamely lengő test, olyan két egyenlő, de ellenkező irányú impulsus hatása alatt, melyek mindegyike körmozgást idézne elő, egyenes vonalú lengést követ, és pedig a kör azon átmérője irányában, melynek végpontjában a két impulsus találkozott.

A fényrezgésre alkalmazva e tétel így hangzik: Két, egyenlő fényerősségü és rezgés számú, ellenkező irányú, körben polarisált fénysugár

együttes hatásából egyenesben polarisált sugár keletkezik. Ennélfogva megfordítva is mondhatjuk, hogy valamely egyenesben polarisált fénysugár két egyenlő erős, ellenkező irányú körben polarisált sugárból áll.

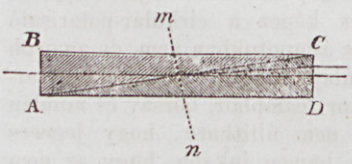
E felfogása az egyenesben polarisált fénysugárnak csak elméleti értéke volna, ha nem léteznének olyan testek, melyek jobbra forgó körben polarisált sugarakra máskép hatnak, mint balra forgó sugarakra. Fresnel megmutatta, hogy a quarz ilyen test.

A fönt tapasztalt tünemény ugyanis, hogy a quarzlemez a polarisatió síkját forgatja, meglepő könnyüséggel magyarázható meg, ha felveszszük, hogy a quarz tengelyének irányában két ellenkezőleg forgó körben polarisált fénysugár különböző sebességgel halad. Ilyen két sugárra szétoszló egyenesben polarisált sugár a kilépés után ismét egyenesben polarisált sugárrá egyesül, de ennek rezgési síkja a beesőhöz képest jobbra vagy balra lesz forgatva, a szerint, a mint a jobbra vagy balra forgó körmozgás haladt gyorsabban. Minél később találkozik a két forgás, annál nagyobb mértékben tér el a kilépő sugár polarisatió síkja a belépőétől; tehát látjuk, hogy a forgás nagysága arányos tartozik lenni a lemez vastagságával.

4. A Fresnel-féle kettős quarzprisma. — A quarzban képződő két ellenkezőleg cirkulár-polarisált sugarat külön-külön megvizsgálni nem lehet, mivel mindkettő iránya ugyanaz. A két sugár szétválasztására Fresnel két ellenkezőleg forgató quarzból készített prismákat egyesített.

E kettős-prisma két hosszúkás derékszögü prismából áll, melyek hegyes szögei ACB és CAD (212. ábra) 7 fokuak. Átló lapjaikkal egymással összeragasztva négyoldalú derékszögü oszlopot képeznek, melynek alapjai, AB és CD, az optikai tengelyekre merőlegesek. Ha egyenes vonalban polarisált fénysugarat bocsátunk az AB síkra, úgy két ellenkező cirkulár-polarisált sugárra bomlik, melyek különböző sebességgel, de egy irányban haladnak az első prismán át. A második prismába való átmenetnél azon sugár, mely előbb gyorsabban haladt a lassúbb lesz, és így a beeső merőlegeshez, *mn*-hez töretik, ellenben a második sugár ettől eltöretik. Ennélfogva a CD lapból két különvált sugár lép ki, melyek sem az egyenesben polarisált sugár tulajdonságaival, sem a természetes fényéivel nem bírnak.

212. ábra.



Ha a sugarak egyikét nicolon bocsátjuk keresztül, úgy azt tapasztaljuk, hogy a nicol mögött felállított ernyő mindig egyenlő mértékben van megvilágítva, bár mikép is forgassuk a nicolt. Egy cirkulár-polarisált sugár csakugyan különböző oldalokkal nem bírhat, hanem köröskörül egyenlő tulajdonságokkal bír. Hogy azonban a

kettősprismát elhagyó két sugár nem természetes fény, azt azonnal látjuk, ha a nicol eleibe vékony gipszlemezt tartunk, melynek főmetszete 45 fokot képez a nicoléval, ekkor a két sugár az ernyőt complementär színekben festi, a mit azonnal látunk, mert a közösen megvilágított terület fehér. E complementär színek fellépése mutatja, hogy az egyik sugár jobbra a másik balra forgó körben van polarisálva.

E kisérlet tehát direkt bebizonyítja, hogy az egyenes vonalban polarisált fénysugár a quarzban két különböző sebességü ellenkezőleg cirkulár-polarisált sugárra bomlik.

III. A polarisatió síkjának forgatása más testek által.

1. A polarisatió síkjának forgatása nem a quarz kizárólagos tulajdonsága. Marbach megmutatta, hogy más testek is bírnak e tulajdonsággal, nevezetesen a szabályos rendszerben jegecedő némely testek, mint chlorsavas natron, bromsavas natron, bromsavas nikeloxydul és több más jegec. E jegeceknél, melyeknek tengelyök nincs, közömbös, hogy a fény mily irányban esik a jegecre, cirkulár-polarisatió áll elő mindig, ha a fény két átellenes lapot összekötő egyenesben hatja azt át.

A quarzhoz egészen hasonlóan csak a tengelylyel majdnem párhuzamosan beeső sugarakra van ilyen hatással a jegecedett zinober, mely szintén a hexagonal rendszerben jegecedik, és melynek forgató képessége 15-ször nagyobb a quarz-énál. A zinobernél is vannak jobbra és balra forgatható jegecek.

A quadratikus rendszerben jegecedő vízmentes kénsavas strychnin is forgatja a polarisatió síkját. De e test lényegesen különbözik a többitől abban, hogy oldatban is képes a polarisatió síkját forgatni.

Ez által e só mintegy átmenetet képez a cirkulár-polarisaló közegek második neméhez, melyek jegeces állapotukban nem, de amorph állapotukban vagy oldatban mutatják e tulajdonságot. E testekhez tartoznak Biot vizsgálatai szerint: nádcukor, camphor, borsav és minden borsavas só. E testekről tulajdonkép nem állítható, hogy jegeces állapotban nem bírnak e tulajdonsággal, hanem inkább, hogy ez nem észlelhető. Mert optikailag két tengelyes jegecek lévén, egy irány sincs, melyben egyszerü törés következik be, azért a cirkulár-polarisatió a közönséges kettős-törés által eltakartatik.

Az említett anyagok közül jobbra forgatják a polarisatió síkját: cukoroldatok, borsav, camphor alkoholban, ezeken kivül dextrin, camphorsav és néhány alkaloid és vegyületei.

Balra forgatók: gummi-oldat, morphin, strychnin és néhány más alkaloid.

E testek forgató képessége egyenesen arányos a hatásos anyag mennyiségével. Ezen alapszik a cirkulár-polarisatiónak a gyakorlatban történő alkalmazása, mely elvben a következő.

2. **Saccharimèter.** — Ha cukoroldattal telt csövet, melynek két vége sik üveglappal van elzárva, keresztben álló nicolok közé helyezünk, úgy az előbb sötéten maradt ernyő azonnal megvilágíttatik. Abból, hogy a második nicolt mennyire kell elforgatni, hogy ismét sötétség álljon be, megtudjuk azon szöget, melylyel a cukoroldat az egyenes vonalban polarisált beeső fénysugarat forgatta. E szög arányos az oldat cukortartalmával. Miután egyszer mindenkorra meg lőn határozva, hogy 20 centiméter hosszú csőben, a forgatás nagysága, ha 100 köbcentiméter oldat 1 gramm cukrot tartalmaz, $1^1/_3$ fokot tesz: a leolvasott szögből az oldat cukortartalmát meg lehet határozni. A cukortartalom gyors és kényelmes meghatározása a gyakorlatban nagy fontossággal bír, azért e célra, az előbb kifejtett elv alapján, külön készülékeket szerkesztettek, melyek saccharimèter-eknek neveztetnek.

NEGYEDIK RÉSZ.

Hőtan.

Alig van tudomány, mely oly lassan és nehezen fejlődött, mint a hőtan. Habár az erre vonatkozó kutatások ép oly buzgósággal folytak, mint a többi tudományoknál, mégis a legtevékenyebb évszázad működése alig volt elegendő a melegség, illetőleg a melegmennyiség fogalmának megállapítására. Annál kevésbbé sikerült a hő mivoltára oly principiumot felállítani, melyből az észlelt tünemények összefüggése megmagyarázható lett volna. A 18-ik század végeig keresztül-kasul járnak a hőről alkotott hypothesisek, majdnem minden uj tény ismerete által módosítva. Csak a melegmennyiség fogalmának megállapítása után emelkedtek ezen elméletek a homályos tapogatódzásokon felül. Azonban oly principium felállítása, melyből valamennyi hőtünemény igen természetes módon magyarázható meg, csak a legujabb időben sikerült; és egy pár évtized elegendő volt ennek alapján a hőtant a legkifejlődöttebb tudományok sorába emelni.

A hő tüneményeit körülbelül a következő sorrendben tanulmányozták: 1) a hőnek legfeltünőbb, vagyis inkább legáltalánosabb hatását, a testek kiterjedését vizsgálták; 2) a halmazállapot változását és 3) bizonyos melegség által előidézett mérsékletet vizsgálták. E sorrendet fogjuk mi is követni, és csak azután, az alapelv megismertetésével adhatjuk az egyes tünemények és törvények magyarázatát.

ELSŐ SZAKASZ.

A hőokozta kiterjedésről.

ELSŐ FEJEZET.

A mérséklet és mérése.

I. A mérséklet.

A természet tüneményeivel foglalkozóknak szükségkép feltünt a melegnek nemcsak érzékünkre, hanem az egész szerves és szervetlen világra gyakorolt hatása. Az első kutatások azonban, még nagyobb

mértékben, mint a már tárgyalt tanoknál, tiszta speculatiokból állottak, melyek a hőtan fejlődésére vajmi csekély befolyással voltak. Azon időben, midőn a középkor elmebénító nyomása megszünni kezdett, a többi tudományokkal a hőtan is fejlődésének indult.

Az első tény, melynek ismerete e tudomány alapját megvetette az volt, hogy a testek nagyobb térfogatot foglalnak el, ha érzékünkre a melegnek nevezett hatást nagyobb mértékben gyakorolják; azaz, hogy melegítve kiterjednek. A légnemű és folyós testeknél e kiterjedés oly feltünő, hogy közvetetlenül észrevehető; ezeket látván tüzetesen megvizsgálták a szilárd testeket is, és azt találták, hogy csekélyebb mértékben ugyan, de melegítve általában kiterjednek.

E tény ismerete különösen azért oly fontos, mert általa meg nem bizható érzékünk helyett a meleg fokozatát a testek térfogataival lehet megmérni, mely mérés nélkül csak igen hiányos megfigyelések lehetségesek. Habár eleve meghatározni nem lehetett, hogy a kiterjedés épen arányos a melegítéssel, mégis oly készülékeket szerkesztettek, melyeken a térfogatváltozást le lehetett olvasni, és számos megfigyelésből meghatározták, hogy a kiterjedés részint az érzékünkre gyakorolt hatással, részint az alkalmazott hőforrással mily összefüggésben van. A melegnek érzékünkre gyakorolt hatásának különböző fokozatát mérsékletnek nevezték. S miután tapasztalták, hogy a legtöbb test, bizonyos hatások közt, nagyobb mérsékletnél nagyobb tért foglal el, fölvették, hogy a mérséklet a kiterjedéssel arányos; azaz egyelőre állitották, hogy kétszer akkora térfogatnövekedés kétszer akkora melegség által létesittetik. Később a különböző irányú kutatásokból kiderült, hogy csak kevés testnél jogosult e fölvétel.

II. A hőmérő.

213. ábra.



1. **A Drebbel-féle hőmérő.** — A hőmérő felfedezését többeknek tulajdonitják, azért határozottan nem tudjuk, hogy kinek jutott eszébe először, a hőnek kiterjesztő hatását a mérséklet mérésére felhasználni.

Az első hőmérő vagyis inkább hőmutató, mely a 17-dik század első felében nagyobb körben elterjedt, az észak-hollandi Cornelius Drebbel hőmérője volt. E hőmérő a mérséklet növekedését a levegő kiterjedése által mutatta, tehát léghőmérő volt. E műszer igen érdekes, különösen lényeges hibája miatt, mely a levegőről akkoriban alkotott fogalmat jellemzi.

Az *a b* edény (213. ábra) nem egészen vízzel van megtöltve, melyet váltóvízzel kevertek, hogy oly könnyen meg ne fagyjon. Az *e* üveggömböt megmelegitették, hogy a levegő egy része kihajtassék; mire a keskeny cső alsó végét az *a b* edénybe merítették. A mint a gömb kihűl, a levegő összehúzódik és a folyadék a csőbe emelkedik. Ha a folyadék bizonyos mérsékletnél *d*-ig emelkedik,

úgy magasabb mérsékletnél, alább fog sülyedni. Igy a mérséklet változása egy alkalmazott osztályzaton leolvasható.

Akkoriban még nem tudták, hogy a külső levegő nyomása szorítja a folyadékot a csőbe, hanem e hőmérő működését így magyarázták. Az üvegedény (*ed*) bizonyos mérsékletnél határozott mennyiségű levegőt tartalmaz, ha e levegőt megmelegítjük, úgy egy része kihajtatik, a hátra maradt rész pedig a lehűlésnél összehúzódik, mint valamely szilárd test, és az edény egy része üres marad: miután a természet üres tért nem tűr, a folyadék addig emelkedik, mig az összehuzódott levegőt (*d*-nél) éri. Ugyan-e felfogással találkoztunk Guericke Ottónál, midőn első légszivattyúját szerkesztette. A levegő azon tulajdonsága, hogy mindig az egész tért betölti, mely rendelkezésére áll, csak a légszivattyú által fedeztetett fel.

E műszer lényeges hibáját az olvasó, ki a légnyomás változatosságát már ismeri, bizonyára már fellelte. A folyadék állása a csőben ép úgy függ a légnyomástól, mint a mérséklettől.

2. **A florenci hőmérő.** — Ott hol a légnyomás fölfedeztetett, tünt föl először az is, hogy a Drebbel-féle hőmérő egyszersmind barométer. Nevezetes, hogy e körülmény Guericke Ottó figyelmét még akkor sem vonta magára, miután már a levegő nyomását meglepő kisérletekkel bebizonyította volt.

A florenci akadémikusok a Drebbel-féle hőmérőt már sokkal jobbal helyettesítették. Alul gömbben végződő üvegcsövet megtöltöttek festett borszeszszel; azután a gömböt forró vízzel melegítették, és a fölső nyilást légmentesen elzárták, úgy hogy a csőben semmi levegő sem maradt. A kihűlésnél a borszesz összehúzódik, és bizonyos határozott mérsékletnél határozott pontnál megállapodik. Miután mély pincéknek mérséklete, a mennyire érzékeinkkel meghatározhatjuk, állandó, azért azon pontot, melyre a hőmérő itt mutatott 0-al jelölték; innen fölfelé és lefelé egyenlő osztályzatokat raktak, a zerus fölöttieket meleg az alsókat hideg fokoknak nevezték.

A hőmérők legnagyobb hiánya most már az volt, hogy mérsékletváltozásokat csak ugyanazon készülékkel lehetett megfigyelni, mert egy másik ugyanazon mérsékletnél mélyebb vagy magasabb pontra mutatott, mint egy harmadik s í. t., azaz különböző hőmérők adatai nem voltak összehasonlíthatók.

3. **A hőmérő állandó pontjai.** — A florenci hőmérő 0 pontja nem volt eléggé megbizható állandóságú, hogy általános kiinduló pontúl szolgálhasson. Azonkivül *két* állandó pontra van szükség, hogy a különböző hőmérők összehasonlíthatók legyenek. Ha mindenütt fellelhető két állandó mérsékletet, egy mélyet és egy magasat, találunk, úgy a hőmérők állását e mérsékleteknél följegyezvén, összehasonlítható hőmérőket nyernénk, csak e két pont közötti tért ugyanannyi egyenlő részre kellene osztani.

Már Guericke Otto figyelmeztetett arra, hogy célszerű volna azon mérsékletből kiindulni, melynél a fagyás bekövetkezik. Newton

saját céljaira lenolajból készített hőmérőt, mert ez magasabb mérsékletnél forr, mint a borszesz. E hőmérő osztályozására meghatározta a folyadék helyét az olvadó hó, és egy egészséges ember vérének mérsékleténél. Az így nyert két pont közötti tért 12 egyenlő részre osztotta. Miután mindkét mérséklet állandó, Newton ez által megvetette az összehasonlítható hőmérők készítésének alapját.

Az első, ki művészi ügyességgel pontosan összevágó hőmérőket kereskedésbe bocsátott D. G. Fahrenheit volt. Hőmérőit következőkép osztályozta: a hőmérőt jég, víz és salmiak vagy konyhasó keverékébe merítette, és a pontot, melynél a hőmérő e mély mérsékletnél megállapodott, zerussal jelölte; mert e keverék mérsékletét a hidegség határának tartotta. Ezután jég és víz keverékébe tette a hőmérőt, és az ennek megfelelő mérsékletet a fagyás kezdetének mondotta. E két pont közötti tért 32 részre osztotta. Egy harmadik állandó pontot akkép nyert, hogy a hőmérőt egy egészséges ember nyelve vagy hóna alatt tartotta. Az alsó osztályzatokat idáig rakva, e pontra 96 esett, úgy hogy az egészséges ember vérének mérséklete 96 fok volt.

Körülbelül 1714-ben jött Fahrenheit azon szerencsés gondolatra, hogy a borszeszt higanynyal helyettesítse. A higanyhőmérő csak később kiderült előnyei mellett különösen azért is célszerűbb, mert a higany csak igen magas mérsékletnél forr, úgy hogy vele sokkal magasabb mérsékleteket mérhetünk, mint a borszeszszel.

A hőmérők tökéletesbítésére Halley gondosan megfigyelte a higany és a borszesz kiterjedését. ha e hőmérők mindinkább melegedő vízbe merülnek. Ő azt találta, hogy a higany egyenletesen terjed ki, mialatt a víz fölmelegszik, míg a borszesz eleinte lassabban, de később már melegített állapotban gyorsan terjed, és a kézzel még megérinthető mérsékletnél forr. Azért a higanyt határozottan alkalmasabb anyagnak mondja a mérséklet mérésére, mint a borszeszt.

De e mellett mind ezeknél sokkal fontosabb felfedezést tett; ugyanis az egyenletesen melegített vízben a higany kiterjedését vizsgálván, a higany egyenletes emelkedését észlelte addig, míg a víz forrásnak nem indult; a mint ez bekövetkezett, a higany a hőmérőben már nem emelkedett, még akkor sem, ha az eddig egyenletes tüzet a víz alatt tetemesen növesztette.

1702-ben Halley-től függetlenül Amontons is fölfedezte a forró víz állandó mérsékletét. Azonban már 1670 körül Huyghens és Papin a légszivattyú segítségével megmutatták volt, hogy a víz és a borszesz igen mély mérsékletnél is képesek forrásba jönni. S miután Fahrenheit megmutatta, hogy a víz szabad levegőben is magasabb vagy mélyebb mérsékletnél forr, a szerint mint a légnyomás nagyobb vagy kisebb: meg volt állapítva azon fontos törvény, hogy a víz forró mérséklete a légnyomástól függ, de ugyanazon nyomásnál a mérséklet állandó.

A forrás állandó mérsékletét először Reaumur használta fel összehasonlítható hőmérők készítésére. Ő a borszeszt vízzel higította,

hogy nagyobb mérsékletet vehessen fel. E hőmérőt olvadó jégbe tette, az ennek megfelelő pontot zerussal jelölte. A borszesz térfogatát, ha eddig ért, 1000-nek vette fel és meghatározta, hogy a forró víz mérsékletéig hány ezred-részszel terjed ki. Miután azt találta, hogy a borszesz a víz legmagasabb mérsékleteig 80 ezred-részszel terjed ki, a forró pontot 80-al jelölte. A hőmérő csövét az előlegesen megkeresett forró pontnál elvágta, és a hőmérőbe annyi borszeszt tett, hogy olvadó jégben 0-ig érjen. Ezután forró vízbe mártotta, melyben a borszesz a csövet tökéletesen betöltötte; ekkor légmentesen elzárta a cső végét, és a hőmérő kész volt. Később higanynyal is készítettek Reaumur-féle hőmérőket.

A Fahrenheit-féle hőmérők forrópontjáig 212 fok tért, úgy hogy a fagypont és forrópont között $212 - 32 = 180$ fok van.

Celsius, upsalai tanár, 1742-ben kimutatta, hogy igen bajos, de még fölösleges is, a hőmérő osztályozásánál a higany vagy borszesz kiterjedési viszonyát tekintetbe venni; azért a két állandó pont, a fagypont és forrópont közötti tért egyszerűen 100 egyenlő részre osztotta.

Jelenleg ez utóbbi osztályozás dívik; azonban Reaumur, sőt Angolországban a Fahrenheit-féle osztályozást is gyakran találjuk még. Azért e három hőmérővel nyert adatok összehasonlítására a fokokat át kell számítanunk, mely átszámitás igen egyszerű, ugyanis ugyanazon tér 80, 100 és 180 részre lévén osztva, e fokok oly arányban vannak, mint $80 : 100 : 180 = 4 : 5 : 9$. Fahrenheitnél a 0 pont 32-vel van jelölve, azért e fokokból először 32-öt le kell vonni, és csak azután szorozhatjuk a megfelelő viszonyszámmal. Az átváltoztatásra a következő képletek szolgálnak:

r^0 Reaum. $= \frac{5r}{4}$ Cels. $\qquad c^0$ Cels. $= \frac{4c}{5}$ Reaum.

f^0 Fahr. $= (f - 32)\,\frac{5}{9}$ Cels. $\qquad c^0$ Cels. $= \frac{9c}{5} + 32$ Fahr.

f^0 Fahr. $= (f - 32)\,\frac{4}{9}$ Reaum. $\qquad r^0$ Reaum. $= \frac{9r}{4} + 32$ Fahr.

MÁSODIK FEJEZET.

A testek hőokozta kiterjedése.

I. A szilárd testek kiterjedése.

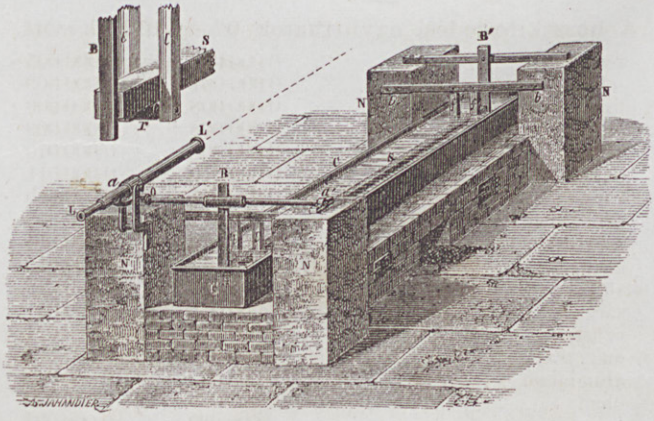
1. Azon tapasztalatból, hogy ugyanazon ingák az egyenlítőnél lassabban lengenek, mint a sarkokhoz közel lévő tájakon, Newton azt következtette, hogy a nehézségerő a sarkoknál nagyobb, mint az egyenlítőnél, a mi onnan származik, hogy a föld nem teljes gömb, hanem

olyan sphaeroid, melynek kis tengelye a két sarkot összekötő egyenes. Azonban a franciák ezen elmélet ellenében az ingák elmaradását az egyenlítőnél csak a hő által történt meghosszabbodásnak tulajdonították. Picard és de la Hire megmutatták, hogy a fémeknek a nap heve által történt kiterjedése oly jelentékeny, hogy az inga-órák változó mérsékletnél egyáltalában pontos időmérésre nem használhatók. Newton több észleletből következtette, hogy a hő-okozta kiterjedés nem lehet oly jelentékeny, hogy belőle az ingák lassúbb lengését az egyenlítőnél meg lehessen magyarázni. E vita a szilárd testek hőokozta kiterjedéseinek pontos megmérésére vezetett; mely mérésekből kitünt, hogy a hő befolyása korántsem akkora, hogy az ingák észlelt eltérését e hatásnak lehetne tulajdonítani.

Az első, ki a szilárd testek hosszkiterjedéseinek mérésére alkalmas készüléket szerkeztett Musschenbroek volt. Követői igen különböző módszereket almalmaztak, de ezeket mint bármily nemű pontos mérésre alkalmazottakat jelen századunkban annyira túlszárnyalták, hogy azok tisztán csak historicus érdekűek. A legpontosabb módszerek egyike a Laplace és Lavoisier által alkalmazott.

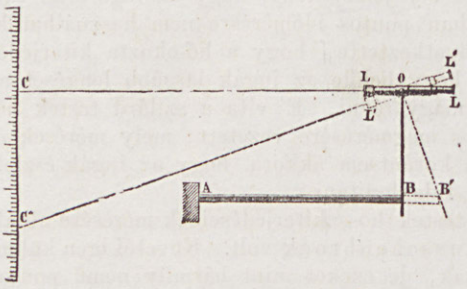
E tudósok szilárd alapra négy kőoszlopot építettek (N N) (214. ábra). A néhány deciméternyi köz által elválasztott két-két oszlopot vaskampókkal kötötték össze. Az első két oszlop a hátsóktól 2 méter távolságban volt. Az oszlopok között egy, fémből készült kád G volt elhelyezve, mely folyadékkal megtöltve azon rúd felvételére szolgált, melynek kiterjedését voltak megmérendők. Hogy e rúd könnyen mozoghasson, üveghengereken nyugodott, s egyik végével a szilárd B' gáthoz, a másikkal pedig a mozgó B karhoz ért, mely utóbbi az $a\,a'$ karral állt összeköttetésben. A mint a rúd meghosszabbodott, e tengelyt és ezzel az L L' távcsövet is forgatta. A távcső egy osztályzatra volt irányítva (215. ábra), melyet 200 méter

214 ábra.



távolságban függélyesen állitottak fel ugy, hogy a távcső tengelye 744 millimétert befutott az osztályzaton, ha a rúd egy milliméterrel terjedt ki.

215 ábra.



A mérés eszközlésére tehát nem volt egyéb szükséges, mint a rudat először olvadó jéggel, s azután bizonyos t mérsékletre hevített vízzel körülvenni és meghatározni, hogy ez alatt a távcső tengelye az osztályzaton hány millimétert futott be. E számot 744-el osztván, kapjuk a meghosszabbodást.

De az állandó osztó (744) meghatározására az emelő kar hoszszát kell pontosan megmérni, a mi jelentékeny nehézséggel jár.

2. **A kiterjedés együtthatója.** — A hosszbeli kiterjedés megmérése által kitünt, hogy a kiterjedés a rúd hoszszával arányos, lényegesen függ az anyag minőségétől, sőt annak molekularis szerkezetétől is; függ továbbá a mérséklettől, úgy hogy növekedő mérsékletnél a kiterjedés nagyobbodik, azaz ugyanazon rúd nagyobb hoszszal terjed ki, ha 200-tól 300 fokra, mint ha 100-tól 200 fokra hevítjük.

Hogy valamely test minőségét jellemző kiterjedését egy számmal megadhassuk, a kiterjedést egy fokra és a hosszegységre vonatkoztatjuk, a mit egyszerűen az által érünk el, hogy valamely rúdnak egy foknyi hevitése által észlelt meghosszabbodását a rúd hoszszával elosztjuk. Az így nyert számot a hosszkiterjedés együtthatójának nevezzük.

A következő táblázat nehány test hosszkiterjedési együtthatóját tartalmazza.

A hosszkiterjedési együtthatók 0^0 és 100^0 között.

fenyőfa	0·000 003	egész	0·000 005
fehérüveg	0 000 007	„	0·000 009
flintüveg	0·000 008	„	0·000 009
granit	0·000 008	„	0·000 009
platina	0·000 008	„	0·000 010
öntött vas	0·000 010	„	0 000 011
vas	0·000 011	„	0 000 015
acél (nem keményített)	0 000 011	„	0·000 012
acél (keményített)	0 000 012	„	0·000 014
arany	0·000 014	„	0·000 015
vörösréz	0·000 017	„	0 000 019
sárgaréz	0·000 018	„	0·000 021
ezüst	0·000 019	„	0·000 021
ón	0·000 019	„	0·000 025
aluminium	0·000 022	„	0·000 023
ólom	0·000 028	„	0·000 029
horgany	0·000 029	„	0 000 034

Ezen együtthatók 0 és 100 fok között érvényesek, magasabb mérsékletnél valamivel nagyobbak, mivel a kiterjedés az említett módon a mérséklettől is függ. A vas és acélnál látjuk, hogy az együttható mikép változik a molekuláris szerkezettel.

Ezen együtthatók segítségével valamely mérsékletnél adott rúd hoszszát más mérsékletnél következőkép számíthatjuk ki:

Ha a rúd hoszsza 0 foknál l_o és egy fokra való hevítése által kiterjed λ-val, úgy 2, 3, 4 .... fokra való hevítése által (azon határig, melynél az együttható meghatároztatott) 2λ, 3λ, 4λ.... hoszszal terjed ki; a rúd hoszsza t foknál:

$$l_t = l_o + t\lambda \text{ vagy}$$

$$l_t = l_o\left(1 + \frac{\lambda}{l_o}t\right)$$

$\frac{\lambda}{l_o}$ a kiterjedési együttható, ezt jelöljük k-val, úgy

$$l_t = l_o(1 + kt)$$

Valamely más t' mérsékletnél

$$l_{t'} = l_o(1 + kt')$$

és ha $l_{t'}$-t l_t által akarjuk kifejezni, akkor lesz

$$l_{t'} = l_t \frac{1 + kt'}{1 + kt};$$

az osztást végrehajtván:

$$l_{t'} = l_t[1 + k(t' - t) - k^2 t(t' - t) + \ldots\ldots]$$

Minthogy k igen kis mennyiség, azon tagokat, melyekben k magasabb hatványon van, elhanyagolhatjuk, úgy, hogy nagy megközelítéssel

$$l_{t'} = l_t[1 + k(t' - t)]$$

3. **A területkiterjedés** valamely test felületének növekedése. Ha egyenletes felület tágul ki, ez önmagához hasonló marad.

A felületet két hosszúság h s és egy állandó tényező φ szorzatául tekinthetjük; ez utóbbi, egyenletes tömegü testnél, állandó marad, és 0^0-tól t^0-ra való hevítés által lesz:

$$h_t = h_o(1 + kt)$$

$$s_t = s_o(1 + kt) \quad \text{és így}$$

$h_t s_t \varphi = h_o s_o \varphi (1 + kt)^2$; a felületet f-el jelölvén:

s ha k^2-t ismét elhanyagoljuk, akkor vagy

$$f_t = f_o(1 + 2kt)$$

s ha k^2-t ismét elhanyagoljuk, akkor

$$f_t = f_o(1 + 2kt)$$

ez l_t képletéhez hasonló kifejezés, azon különbséggel, hogy itt k helyett $2k$ van, a mit ugy fejezhetünk ki, hogy a területkiterjedés együtthatója kétszer akkora, mint a hosszkiterjedési együttható.

4. **A köbkiterjedés** a hevített test térfogatának növekedése. A köbkiterjedési együttható kiszámításánál az előbbihez hasonló módon járunk el; e szerint ugyanis

$$h_t \cdot s_t \cdot m_t \cdot \varphi = h_o \cdot s_o \cdot m_o \cdot \varphi\,(1 + kt)^3$$

vagy $$K_t = K_o\,(1 + kt)^3$$ és megközelítőleg

$$K_t = K_o\,(1 + 3kt)$$

Ha egybevetjük ezt is a hosszkiterjedés képletével, azt látjuk, hogy k-t $3k$ helyettesíti, a miért is mondhatjuk, hogy a köbkiterjedés együtthatója háromszor akkora, mint a hosszkiterjedés-é.

5. **A sűrűség változása.** — Sűrűség alatt valamely test térfogategységében foglalt tömegmennyiséget értettünk; s minthogy a kiterjedés után ugyanazon tömeg nagyobb tért foglal el, világos: hogy a test sűrűsége kisebbedett.

Ha a test tömegmennyisége m, térfogata 0^0-nál v_o és sűrűsége ezen mérsékletnél d_o, akkor

$$d_o = \frac{m}{v_o}$$

t^0-nál a térfogat lesz $v_o\,(1 + 3kt)$ a sűrűség pedig ezen mérsékletnél

$$d_t = \frac{m}{v_o\,(1 + 3kt)};$$

vagy

$$d_t = \frac{d_o}{1 + 3kt}.$$

Ha $3k$-t megmérjük, kiszámíthatjuk a mérsékletváltozással járó sűrűségváltozást; vagy megfordítva: ha d_o-t és d_t-t mérjük meg, kiszámíthatjuk $3k$-t.

II. A folyadékok kiterjedése.

1. A folyadékok kiterjedésének megmérésénél különös nehézségre akadunk.

Tegyük fel, hogy bármily anyagból készült és tetszőleges alakú edény saját magával volna megtöltve; ily módon folytonos szilárd testet nyernénk, és ha ezt hevítenök, az egész anyag kiterjedne úgy, hogy az edény még mindig megtöltve maradna. A belső térfogat ép úgy tágulna ki, mint a külső, és ha ez zerus foknál v akkor t foknál $v\,(1 + 3kt)$ térfogattal bírna. Helyettesítsük már most a belső anyagot folyadékkal, akkor a hevítés kezdeténél az edény melegebb lévén a folyadéknál, nagyobb mértékben tágul ki, mint ez, minélfogva a folyadék felszíne süllyed, s csak akkor emelkedik ismét, ha a folyadék szintén átmelegedett. Ebből látjuk, hogy valamely edényben foglalt folyadéknak észlelt kiterjedése csak a folyadék és az edény kiterjedésének különbsége; az edény kiterjedése pedig épen akkora, mint ha egészen ki volna töltve saját anyagával.

Ha tehát valamely folyadék valódi kiterjedését akarjuk megmérni, akkor először azon üveg kiterjedésének együtthatóját kell is-

mernünk, melyben a folyadék foglaltatik, de épen ennek pontos meghatározása képezi a nehézséget. Mert a legjobb esetben ismerhetjük ugyanazon üveg kiterjedési együtthatóját, melyből az edény készült, de az edény készítése alatt történt változtatás ismét megmásítja az együtthatót; továbbá valamivel nagyobb mértékben terjed ki az edény ama nyomás következtében is, melyet falaira a folyadék gyakorol.

Ezen okoknál fogva Dulong és Petit és később Regnault módot kerestek arra, hogy a higany absolut kiterjedését az üvegtől függetlenül meghatározhassák.

2. **A higany absolut kiterjedése.** — Dulong és Petit vizsgálataikat azon tényre alapították, hogy két különböző sűrűségü folyadéknak magasságai, közlekedő csövekben, sűrűségeikkel visszás arányban vannak. Ha két higanyoszlop, — melyek egyike olvadó jéggel van körülvéve, és másika bizonyos t mérsékletre hevítve — közlekedik, akkor sűrűségeikre áll, hogy

$$\frac{d_o}{d_t} = 1 + kt$$

hol kt a higany térfogat-egységének kiterjedését 0^0-tól t^0-ig, és így k, o és t között lévő közép-terjedési együtthatót jelöli. Következésképen magasságaira h_o és h_t-re nézve lesz:

$$\frac{h_t}{h_o} = \frac{d_o}{d_t} = 1 + kt$$

miáltal a magasságokból kt-t meg lehet határozni. Ezen egyenletből ugyanis

$$kt = \frac{h_t - h_o}{h_o}$$

S minthogy e magasságok az edények alakjaitól függetlenek, azért ezek kiterjedése nem jöhet tekintetbe.

E mérésekből kiderült, hogy a higany kiterjedése nem arányos a mérséklettel; vagyis: hogy k nem állandó, hanem a mérséklettel növekedik. Azonban az eltérések elég csekélyek arra, hogy e képlet alkalmazása megengedhető legyen, ha a higany mérséklet-változása nem igen nagy, és ha k helyett azon értéket veszszük, mely a középmérsékletnek megfelel.

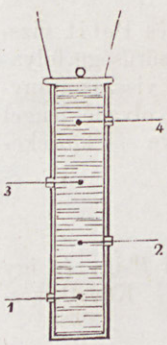
Ezekből következik, hogy a két különböző anyagból készült hőmérő, csak a két állandó pontnál vághat össze. S miután a levegő a folyós és szilárd testeknél sokkal egyenletesebben terjed ki, azaz terjedési együtthatója mint alább látni fogjuk majdnem tökéletesen állandó, azért pontos méréseknél a higanyhőmérőket léghőmérővel való összehasonlítás által kell osztályozni.

3. **A víz kiterjedése.** — Némely test az általános törvénytől eltér, ugyanis fogyó mérséklettel csak bizonyos határig húzódik össze, és közel a megmerevedéshez kitágul, úgy, hogy a szilárd test saját folyadékán úszik. E testek közül különös figyelmet érdemel a víz, melynek kiterjedését ujabb időben nagy gonddal határozták meg, és azt találták, hogy legnagyobb sűrűségét igen közel 4 foknál éri el.

Ha jobban lehűtjük, kiterjed és sűrűsége kisebb lesz, mint mikor hevítjük.

Hogy a víz 4 foknál éri el legnagyobb sűrűségét, azt a következő kisérlet mutatja. Egy zárt edényt, mely körülbelül 10 fokú vízzel van megtöltve, hideg téli napon a szabadban felfüggesztünk. Az edénybe vízmentesen illesztett 4 hőmérő, különböző magasságban méri a víz mérsékletét. (216. ábra.) Legelőször az edény falaihoz közel fekvő vízrétegek hűlnek le, melyek, mint sűrűebbek, alá szállnak, mig a melegebb rétegek a felszinre emelkednek. — Ennek következtében a hőmérők különböző mérsékletet mutatnak; a legalsó (1) leggyorsabban sülyed, a többiek pedig annál lassabban, minél távolabb vannak amattól. A mint az alsó hőmérő 4 fokot mutat, megállapodik, minthogy ekkor az azt körülvevő víz legnagyobb sűrűségét már elérvén, a hidegebb rétegek már többé el nem szoríthatják. Ezután lehűl a többi vízréteg is, minek folytán a 2., 3., 4. számú hőmérő is 4 fokra száll alá, úgy, hogy végre beáll egy pillanat, melyben az egész víztömeg 4 fokuvá leszen. De a lehűlés még tovább folyt, azonban a lehűlt rétegek már most fölfelé szállnak. A 4. hőmérő, mely a 4. fokot legutoljára érte el, legelőször is hagyja el, és alább sülyed. Ezt követik azután rendre lefelé a többiek.

216. ábra.



Ha valamely víztömeg csak fölülről hűttetik le, akkor 1—2 méter mélységben hőmérséke lehet 4 fok, dacára hogy felszíne jéggel van borítva.

Despretz megmutatta, hogy a sóoldatok is legnagyobb sűrűséggel bírnak, a mi annál mélyebb mérsékletnél áll be, minél sűrűbb az oldat; ez a hőmérsék gyakran mélyebben fekszik, mint az oldat fagypontja, úgy, hogy az csak mesterséges lehűlésnél észlelhető. Igy például a tenger vize, mely szabad levegőn — 1^{0}·9-nél fagy, legnagyobb sűrűségét — 3^{0}·9-nél éri el, ha ugyanis vékony nyakú kis edényben nyugodtan áll. 74 gramm hamuzsir oldata 1 liter vízben — 4^{0}·3-nél fagy, és csak — 16 foknál éri el legnagyobb sűrűségét.

III. A gázok kiterjedése.

1. **A Gay-Lussac-féle törvény.** — Minthogy a gázok bármily mérsékletnél kiterjedni törekszenek, azért csak a mérsékletemelés okozta kiterjedési törekvés növekedéséről lehet szó. Igy, ha valamely gázt szilárd edényben — mely kiterjedési törekvésének nem enged, — hevítünk, a falakra gyakorolt nyomás, vagyis a gáz feszítő ereje, fog növekedni. Ez volna a gáz feszítő erejének változása a mérséklettel, ha a térfogat állandó. Ha ellenben a gázt oly körülmények közt hevítjük, melyekben a mérséklet-növekedés dacára feszítő ereje állandó marad, akkor térfogatának kell nagyobbodnia.

Ha a gáz térfogatát 0 foknál v_o-nak, t^0-nál v_t-nek nevezzük, az 1 foknyi mérséklet-növekedésnek megfelelő térfogat-növekedést w-nek, akkor, ha a nyomás állandó maradt, lesz

$$v_t = v_o + t \,.\, w \quad \text{vagy}$$

$$v_t = v_o \left(1 + \frac{w}{v_o} t\right)$$

$\frac{w}{v_o}$ az 1 foknyi mérséklet-növekedésnek megfelelő térfogat-növekedés viszonya az eredeti térfogathoz: azon szám, melyet hőkiterjedési együtthatónak nevezünk; jelöljük ezt α-val, akkor

$$v_t = v_o (1 + \alpha \,.\, t)$$

Ezen egyenletből kiszámithatjuk, hogy bizonyos adott mérsékletnél mekkora térfogatot kell a gáznak elfoglalnia, hogy feszítő ereje állandó maradjon.

E képletben foglalt törvényt Gay-Lussac-féle törvénynek nevezzük, mert ő volt az első, ki α-t kellő pontossággal meghatározta.

Mielőtt az illető kisérleti vizsgálatokra átmennénk, célszerű lesz e törvényt a Mariotte-féle törvénynyel egyesítenünk.

2. **A Mariotte-Gay-Lussac-féle törvény.** — A Mariotteféle törvény megadja a gáz feszítő ereje és térfogata közötti összefüggést, ha a mérséklet állandó; ugyanis

$$p \,.\, v = p_t \,.\, v_t$$

A Gay-Lussac-féle törvény megadja a térfogat és mérséklet közötti összefüggést, ha a feszitő erő állandó.

E kettő egyesitéséből megkapjuk a feszítő erő és a mérséklet közötti összefüggést, ha a térfogat állandó.

Ugyanis, ha a t foknál $v_o(1 + \alpha t)$ térfogatot elfoglaló gáz p_o feszítő erővel bír, és azt eredeti v_o térfogatára képzeljük összeszorítva, akkor feszítő ereje lesz például p_t. A Mariotte-féle törvény szerint

$$p_t v_o = p_o v_o (1 + \alpha t) \quad \text{vagy}$$

$$p_t = p_o (1 + \alpha t)$$

A feszítő erő tehát ép oly összefüggésben van a mérséklettel, mint a térfogat. De az itt előforduló együttható α annyiban különbözik az előbbitől, a mennyiben a gázok a Mariotte-féle törvénytől eltérnek; a mint azt alább a kisérletekből is látni fogjuk.

Végre a gáz állapotát meghatározó mindhárom mennyiség, mint: térfogat feszítő erő és mérséklet közötti összefüggést kell felállítanunk.

E célra képzeljünk egy t^0-ra hevített gázmennyiséget, melynek térfogata lesz $v_o(1 + \alpha t)$ és feszítő ereje p_o; ha más, például v térfogatra szorítjuk, melynél feszítő ereje p, akkor egyszerűen felírhatjuk, hogy

$$x) \ldots\ldots p v = p_o v_o (1 + \alpha t)$$

Ezen általános összefüggést, a feszítő erő, térfogat és mérséklet közt, nevezzük a Mariotte-Gay-Lussac-féle egyesített törvénynek.

Minthogy minden test sűrűsége a térfogattal visszás arányban van, vagyis $\frac{v}{v_o} = \frac{d_o}{d}$, azért a fönnebbi egyenletet így is lehet írni:

$$\frac{p}{p_o} = \frac{d}{d_o}(1 + \alpha t)$$

3. **Absolut mérséklet.** — Eddig a testek mérsékleteit csak egymással hasonlítottuk össze, a nélkül, hogy absolut értékeit meghatároztuk volna. Erre nézve ismernünk kell a test oly állapotát, melyben az épen semmi meleget sem tartalmaz. A Gay-Lussac-féle törvény a gázokra nézve némi megközelítéssel lehetővé teszi azon mérséklet meghatározását, melynél a gázok tömecsei már nem mozognak, melynél absolut hidegek. Ugyanis ezen egyenletből

$$p_t = p_o(1 + \alpha t)$$

keressük azon mérsékletet, melynél $p_t = 0$, miáltal

$$0 = 1 + \alpha t \quad \text{és}$$

$$t = -\frac{1}{\alpha}$$

α, a később leirandó kisérletek által igen közel $\frac{1}{273}$-nak találtatott; mi által

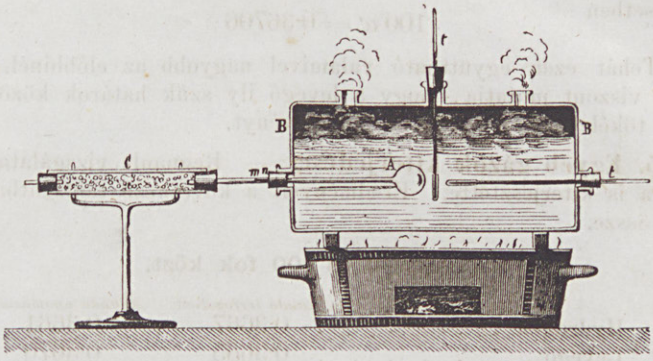
$$t = -273$$

Ha tehát az állandó gázokat —273 fokra hűthetnök le, már nem birnának feszítő erővel, tömecsei nyugvásban volnának. Az innen számított mérsékletek tehát absolut mértékül szolgálhatnak, azért ezeket absolut mérsékleteknek is nevezzük.

4. **A levegő hőkiterjedési együtthatójának meghatározása.** — A 17. század második felében többen igyekeztek a levegő hőkiterjedési együtthatóját meghatározni, azonban a nyert számadatok annyira eltértek egymástól, hogy a helyest kikeresni nem lehetett. E mérésekből továbbá azt kellett következtetni, hogy a levegő is, mint a szilárd és folyós testek, növekedő mérséklettel nagyobb mértékben terjed ki. Azonban a téves eredmény csak onnan származott, hogy e mérésekre vizgőzzel kevert levegőt használtak. Azért Gay-Lussac és Dalton 1800 körül egymástól függetlenül gondosan megszárított levegővel ismételték e méréseket.

Gay-Lussac a száraz levegő hőkiterjedési együtthatóját a következő módon határozta meg. Egy üveggömböt (A) (217. ábra), mely osztályzattal ellátott szűk csőben végződött, és melynek térfogatát pontosan meghatározta, megtöltött higanynyal, és ezt a levegő és minden nedvesség eltávolítására jól kifőzte. Hogy a készüléket tökéletesen száraz levegővel megtölthesse, a cső nyitott végéhez chlorcalciummal telt üvegcsövet erősített, mely a levegőt, mielőtt ez az A gömbbe jutott, tökéletesen megfosztotta nedvességétől. Ezután finom platinasodronyt bocsátott a készülékbe, mely C-n keresztül egész A-ig ért, ennek mozgatása által, ha a készülék függélyesen állott,

217. ábra.



elérte azt, hogy a higany cseppenként kiesett. A kieső higanyt nyomban a száraz levegő helyettesítette. Miután a készülék ily módon száraz levegővel meg volt töltve, a csőbe higanycseppet bocsátott, mely a levegőt elzárta, és az elzárt levegő térfogatát megmutatta.

Az ily módon elkészített csövet fémszekrényben vízszintes állásban megerősített és először jéggel vett körül, azután vízzel, melyet egészen a forrásig hevített. A mérsékletet a *t t* hőmérők mutatták, melyek emelkedésével a gáz kiterjedt, és az *m n* jelzőt tovább tolta. A jelző állását zerus foknál, és a mindinkább emelkedő mérsékleteknél feljegyezvén, ismerjük a levegő térfogatát az illető mérsékleteknél.

A kisérletek hosszú sorából Gay-Lussac a száraz levegő hőkiterjedési együtthatójára 0-tól 100 fokig 0·375-öt talált.

Gay-Lussac vizsgálatait egyéb gázokra is kiterjesztette, és azon nevezetes eredményre jutott, hogy valamennyi gáz egyformán terjed ki, t. i. 0-tól 100-fokig eredeti térfogatuk 0·375-ed részével.

E törvény fontossága, és különösen hogy Rudberg a levegő hőkiterjedési együtthatóját 0·375 helyett 0·365-nek találta, indította e szám végleges megállapítására egyidejüleg Magnus-t és Regnault-ot, hogy e kisérleteket nagy gonddal és elővigyázattal ismételjék.

E két nagyhírű tudós 1840 körül megegyezőleg azt találta, hogy

$$100\,\alpha = 0{\cdot}36678 \quad \text{vagy}$$

$$\alpha \text{ közel} = \frac{1}{273}$$

E szám a levegő terjedési együtthatója változó nyomásnál; ugyanis megadja a levegő feszítő erejének növekedését, ha 0 fokról 100 fokra hevíttetik. Mint előbb láttuk, ezen együtthatónak annyiban el kell térni az állandó nyomásnál mutatkozó együtthatótól, a mennyiben a levegő a Mariotte-féle törvénytől eltér. Regnault ezen együtthatót közvetetlenül meghatározta, ugyanis megvizsgálta, hogy ha a levegőre gyakorolt nyomás állandó marad, mennyivel növekedik

térfogata, mialatt 0 fokról 100 fokra hevíttetik és azt találta, hogy ezen esetben

$$100\,\alpha' = 0{\cdot}36706$$

Tehát ezen együttható valamivel nagyobb az előbbinél. Ezen eltérés viszont mutatja, hogy a levegő ily szűk határok között sem követi tökéletesen a Mariotte-féle törvényt.

5. **Egyéb gázok kiterjedése.** — Regnault vizsgálatait más gázokra is kiterjesztette. Eredményeit a következő táblázatban foglaljuk össze.

Kitágulás 0 és 100 fok közt.

	Állandó térfogatnál	*Állandó nyomásnál*
Hydrogen	0·3667	0·3661
Levegő	0·3665	0·3670
Nitrogen	0·3668	—
Szénoxyd	0·3667	0·3669
Szénsav	0·3688	0·3710
Nitrogenoxyd	0·3676	0·3719
Kénessav	0·3845	0·3903
Cyan	0·3829	0·3877

E táblázatból látjuk, hogy azon együttható, mely állandó térfogatra vonatkozik valamennyi gáznál kisebb, mint a másik, csak a hydrogen mutat ellenkező eltérést. E gáznál már láttuk, hogy a Mariotte-féle törvénytől csakugyan ellenkező irányban tér el, mint a többi gáz, ugyanis kevésbbé összenyomható, mint a Mariotte-féle törvény kívánja.

E táblázat még egy igen fontos tényt ismertet meg: ugyanis azt, hogy a különböző gázok nem egyenlő mértékben tágulnak ki.

Amaz eltérések oly csekélyek, hogy a Gay-Lussac-féle törvény második részét, mely szerint a gázok együtthatója állandó, a gyakorlatban, ép úgy mint a Mariotte-féle törvényt, alkalmazhatjuk.

IV. A gázok fajsúlya és sűrűsége.

1. Valamely gáz fajsúlya alatt, ép úgy, mint a folyós és szilárd testeknél, a térfogategységben foglalt gáznak súlyát értjük. S minthogy a gázok fajsúlya a mérséklet és nyomás befolyása által tetemesen megváltozik, azért okvetetlenül szükséges, — ha az egyes gázok fajsúlyait, azok jellemzésére, egymással összehasonlítani akarjuk — hogy, fajsúlyaikat egyenlő mérséklet és nyomásnál határozzuk meg.

Közmegegyezés szerint e mérséklet 0 foknak és a nyomás 760^{mm}-nek választatott. E körülményeket a gázokra nézve normalis körülményeknek nevezzük; és az ezekben talált fajsúlyt vagy sűrűséget normalis fajsúlynak vagy sűrűségnek nevezzük. A gázok normalis absolut fajsúlyai igen kicsinyek, és az ebből származó kényelmetlen-

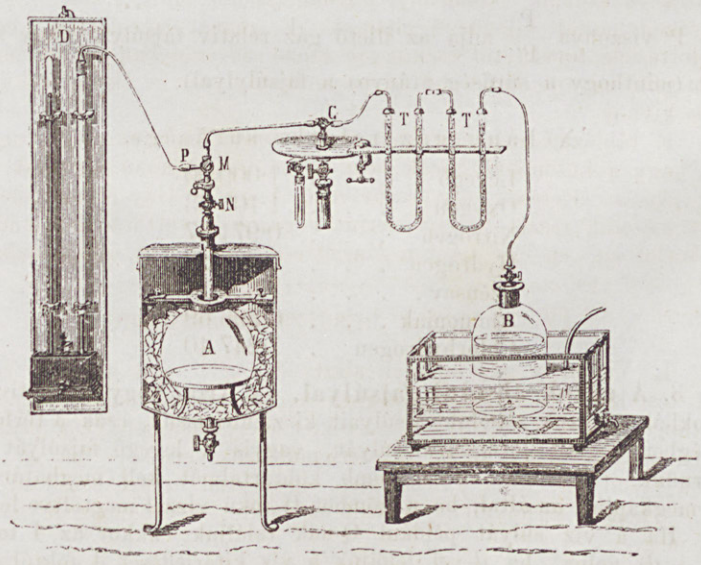
séget kikerülendők, ezeket egymásközt összehasonlítjuk, úgy, hogy a levegőhez viszonyított fajsúlyt határozzuk meg; miáltal relativ fajsúlyokat nyerünk, melyeknél a levegő normalis fajsúlya az egység

Biot és Arago voltak az elsők, kik a gázok fajsúlyait megközelítő pontossággal határozták meg. Ők egyszerűen a gáznak bizonyos térfogatát megmérlegelték, azáltal, hogy egy lombikot először üresen azután az illető gázzal töltve megmérték. E módszer elvben ugyan egyszerű, de kivitele nagy nehézséggel jár, azért az így nyert eredmények nem igen biztosak. Regnault volt ismét az, a ki e kisérleteket sokkal nagyobb pontossággal hajtotta végre.

2. **Regnault módszere.** — Regnault két egyenlő üveggömböt választott, melyek köbtartalma körülbelül 10 liter volt; mindegyik csappal felszerelt réztokkal bírt. A gömbök külső térfogata egyenlő volt; ha ezek egymástól valamivel eltértek, akkor a térfogat-különbséggel egyenlő üvegdarabot a kisebbikre forrasztott. Ha ilyen két zárt gömböt a mérleg két csészéjére függesztünk, bizonyos, hogy a levegőben egyenlő súlyveszteséget szenvednek, a levegő bármily állapotánál.

E gömbök egyikét A (218. ábra) jéggel telt fémedényben 0 fokra hűtötte le, mialatt a gáz a hárommenetű M és C csapok által össze-

218 ábra



köttetésben állott 1) a D manométerrel, 2) a légszivattyúval és 3) a TT szárító készülékkel; ez utóbbin vezette be a gázt a B) tárból. Miután A-ból a levegőt kiszivattyúzta, B-ből bebocsátotta a gázt, ezt ismét kiszivattyúzta és újra megtöltötte, mely műtétet

addig ismételte, mig meggyőződött arról, hogy a levegőnek csak elenyésző kis része maradhatott a gömbben. Végre a gázt a mennyire lehetett kiszivattyúzta, és a még benne maradt rész feszitő erejét, h-t a manométeren lemérte. Erre az M és N csapok elzárattak, és a jól leszárított gömböt azon mérleg egyik csészéjére függesztette, melynek másikán a második gömb függött. A két gömböt tárasúlyokkal egyensúlyozta.

A megmérlegelés után a gömböt ismét előbbi helyére tette, és az összeköttetést D- és B-vel helyre állitotta. Miután meggyőződött arról, hogy a gömb a barométerállással, H-val, mért nyomás alatt 0 fokú levegővel megtelt, azt elzárta, újra a mérlegre tette, és súlynövekedését p-t meghatározta. E p tehát a gömb térfogatával v_0-al biró 0 fokú gáznak súlya $H-h$ nyomásnál. S minthogy a gázok súlyai a nyomásokkal egyenes arányban vannak, könnyen kiszámithatjuk, hogy mekkora volna a gáz P súlya, ha 760^{mm} nyomásnál töltötte volna meg a gömböt; ugyanis

$$\frac{P}{760} = \frac{p}{H-h} \quad \text{tehát} \quad P = p \cdot \frac{760}{H-h}$$

Ugyan e kisérletet ismételve levegővel, szintén ilyen képletet nyerünk:

$$P' = p' \frac{760}{H'-h'}$$

P és P′ viszonya $\frac{P}{P'}$ adja az illető gáz relativ fajsúlyát vagy sűrűségét (minthogy a sűrűség arányos a fajsúlylyal).

Néhány gáz relativ sűrűsége.

Levegő	1·000 00
Oxygen	1·105 63
Nitrogen . . .	0·971 37
Hydrogen . . .	0·069 26
Szénsav	1·529 10
Ammoniak . . .	0·596 69
Chlorhydrogen .	1·247 40

3. **A gázok absolut fajsúlyai.** — Arra, hogy a relativ fajsúlyokból a gázok absolut fajsúlyait kiszámithassuk, csak a térfogategységben foglalt levegőnek súlyát, vagyis a levegő fajsúlyát kell ismernünk. E célból az A gömb köbtartalmát kell meghatározni. Ezt megkapjuk az által, ha a gömböt 0 fokú vízzel megtöltve leméríjük. Ha a víz súlyát például Q-nak találjuk, akkor az 4 foknál $Q(1+d)$ volna, ha d-vel jelöljük a víz kiterjedését 4 foktól 0-ig. A zerus fokú gömbbe tehát $Q(1+d)$ kilogramm 4 fokú víz fér, mely szám egyszersmind a gömbnek köbdeciméterekben kifejezett térfogatát adja. Ha e számmal a gömbben foglalt levegő súlyát elosztjuk, akkor a 0 fokú és 760^{mm} nyomású levegő 1 köbdeciméterének súlyát nyer-

jük, és ezt Regnault 1·293 grammnak találta. Ha e számmal a gázok relativ fajsúlyait szorozzuk, nyerjük absolut fajsúlyaikat, vagyis az 1 köbdeciméterben foglalt gázok súlyait.

Néhány gáz absolut fajsúlya.

Levegő . . .	1·293 187
Nitrogen . . .	1·256 157
Oxygen . . .	1·429 802
Hydrogen . . .	0·089 578
Szénsav . . .	1·977 414

1 köbdeciméter t mérsékletü és h nyomás alatt levő levegőnek a súlya

$$s = 1{\cdot}293\,187^{\text{gr}} \frac{p}{(1+\alpha t)\,760}$$

Más gázra nézve, melynek normalis absolut fajsúlya σ' és terjedési együtthatója α', ugyanazon t mérsékletnél és p nyomásnál

$$s' = \sigma' \frac{p}{(1+\alpha' t)\,760}$$

E két utóbbi egyenlet viszonya

$$\frac{s'}{s} = \frac{\sigma'}{\sigma} \cdot \frac{(1+\alpha t)}{(1+\alpha' t)} \qquad (\text{ha } 1{\cdot}293 = \sigma)$$

S minthogy az állandó gázok hőkiterjedési együtthatói igen közel egyenlők egymással, azért írhatjuk, hogy

$$\frac{s'}{s} = \frac{\sigma'}{\sigma}$$

vagyis: a normalis relativ fajsúly $\frac{\sigma'}{\sigma}$ akkora, mint ha a levegő és az illető gáz fajsúlyait bármily egyenlő mérsékletnél és nyomásnál hasonlítanók össze. Igen természetes, hogy ez csak annyiban áll, a mennyiben a gázok a Gay-Lussac-féle törvényt követik. Regnault vizsgálatai szerint levegő-, oxygen- és nitrogennél $\frac{s'}{s}$ és $\frac{\sigma'}{\sigma}$ közt alig észrevehető a különbség; de a folyósítható szénsavnál e különbség már el nem hanyagolható.

MÁSODIK SZAKASZ.

A halmazállapot változása.

ELSŐ FEJEZET.

Az olvadást és a megmerevedést kisérő tünemények.

I. Az olvadás.

Ha szilárd testet hevítünk, térfogata növekedik; és ha e hevítést folytatjuk, úgy oly pillanat áll be, melynél megömlik, megolvad, vagyis folyós állapotba megy át. A különböző testeknek e physikai átalakulása igen különböző mérsékletnél történik, így például a higany — 39 foknál, a víz 0 foknál, az ón 230 foknál olvad meg. Vannak testek továbbá, melyek csak a durranó gáz és a voltaoszlop által elérhető legmagasabb mérsékletben ömlenek meg, mint a platina, quarz, mész, rubin, szén és csillámpala, mely utóbbiak a legujabb időig megömleszthetetleneknek tartattak.

Az olvadással járó tünemények két egyszerű törvénybe foglalhatók: 1. Minden test meghatározott és állandó mérsékletnél olvad meg, mely mérsékletet azon anyag olvadópontjának nevezzük. 2. Az anyag mérséklete az olvadás alatt állandó.

A mint a test olvadni kezd, mérsékletét meleg hozzávezetés által emelni már nem lehet; a növesztett melegség csak az olvadást gyorsítja. Különben nagyobb tömegeknél könnyen megeshetik, hogy felületükön olvadnak, míg belül az olvadás pontjánál alantabb mérsékletüek. Ép úgy lehetséges, hogy a már származott folyadék, a szilárd testtől távolabb helyen, magasabb mérsékletű, mint az a rész, mely a szilárd testtel érintkezik.

II. A megmerevedés.

1. Ha a folyadékokat lehűtjük, megmerevednek, megfagynak; némelyek magas mérsékletnél, mások alantabb vagy igen mély mérsékletnél fagynak meg; mig végre vannak olyanok, melyeket megfagyasztani eddig még nem voltunk képesek. Azonban kétséget nem szenved, hogy ez utóbbiak is szilárd állapotba mennének át, ha az erre szükséges mély mérsékletet előállítani képesek volnánk. Igy például az alkoholt megfagyasztani eddig még nem sikerült, de Despretz észlelete szerint annyira megsűrűl, hogy alig önthető már, ha azt aether, szilárd szénsav és folyós nitrogenoxydul keverékével veszszük körül.

A folyadékok szilárd állapotba való átalakulásuk alatt két törvényt követnek, melyek az olvadásnál talált törvényeknek felelnek meg: 1. Minden test megmerevedési mérséklete állandó, és azonos az olvadás pontjával. 2. A mérséklet a megmerevedés folyamata alatt változatlan.

Néhány test olvadó pontja.

Angol kovácsolt vas . . .	1600°
Francia lágy vas	1500
Acél	1400 — 1300
Szürke öntött vas	1200 — 1100
Fehér „ „	1100 — 1050
Arany	1250
Réz	1050
Ezüst	1000
Ón	360
Ólom	326
Fehér ón (Zin)	230
Kén	110
Fehér viasz	69
Sárga viasz	61
Phosphor	44
Faggyú	33
Vaj	33
Jég	0
Higany	— 39
Szénsav	— 58
Ammoniak	— 75
Kénessav	— 76

2. **Az olvadás és a megmerevedés pontjának változása.** — Az előrebocsátott törvények koránt sem oly absolut becsüek, mint a milyeneknek előbb idéztük. — Nem rég bebizonyult, hogy a külnyomás tetemes változása, az olvadás vagy megmerevedés pontját kevéssé ugyan, de észrevehetően megváltoztatja.

W. Thomson a jég olvadását nagy nyomás alatt vizsgálta meg, és azt találta, hogy a jég 8 légköri nyomás alatt — 0·05 foknál, és 17 légköri nyomás alatt — 0·13 foknál olvad. Mousson ezeknél sokkal nagyobb nyomás alkalmazása által a jég olvadó pontját — 18 fokra szállította alá.

3. **Térfogat-változások a megmerevedésnél.** — Azon egyenletes kitáguláson kivül, melyet ép úgy a szilárd, mint a folyós testeken tapasztalunk, térfogatuk és ezzel járó sűrűségük rögtön történő átváltozásnak is van alávetve, azon pillanatban, melyben egyik állapotból átlépnek a másikba. Mint már említve volt a víz kitágul, a midőn megfagy, a mit abból látunk, hogy az edényt a melyben el van zárva gyakran szétrepeszti, vagy abból, hogy a jég a vízen

úszik. Ugyanezt mutatják: az öntött vas, antimon, bismuth és néhány só, melyek ha az oldatból kijegecednek, azon úsznak. Ellenben a megmerevedésnél összehúzódnak: a higany, a phosphor, kén, stearin, parafin s a t., és ezen tulajdonság az általánosabb; a testek többnyire szilárd állapotban sűrűbbek, mint folyós állapotban.

Ermann vizsgálata szerint a jégnek összehúzódása nem történik közvetetlenül a megolvadásnál, hanem már a jégben veszi kezdetét. Ha ugyanis 0 foknál alacsonyabb mérsékletü jeget hevítünk, akkor 0 fokig meglehetős egyenletességgel, minden fokkal térfogatának 0·000 037-ed részével tágul ki.

4. **Ötvények olvadó pontja.** — Határozott viszonyban vegyített fémek tökéletesen állandó mérsékletnél olvadnak meg, és e mérséklet általában mélyebben fekszik, mint az egyes alkotó elemek olvadó pontja. Igy például e három fém: ólom, bismuth, ón, melyek közül az utolsónak legalacsonyabb olvadó pontja van: 230°, ötvényeinek olvadó pontja, az egyes fémek viszonya szerint 94 fokra szállítható le. Ón- és ólomból képezett ötvény legmélyebb olvadó pontját eléri, ha 2 rész ólmot és 3 rész ónt vegyítünk. E viszony megváltoztatása akár mely irányban magasbra emeli az olvadó pontot.

Az ötvények a legtöbb esetben az olvadás előtt meglágyulnak, minek megmagyarázására felveszszük, hogy két vegyületre bomlanak, melyek egyike előbb olvad, mint másika.

Ha az igy megömlesztett ötvényt ismét lehűtjük, a megfordított tünemény mutatkozik, azaz részletes megszilárdulás megelőzi a tökéletest.

5. **A jég idomíthatása.** — Tyndall megmutatta, hogy a jég, bármily alakú mintába is szoríttatik, könnyen felveszi ennek alakját. Igy például jeget olyan két fadarab közé szorított, melyek lencsealakú üreget képeznek, miáltal igen szép síma jéglencsét nyert. E tüneményt Tyndall összefüggésbe hozza Faraday-nek azon tapasztalatával, hogy két egymáshoz szorított olvadó jégdarab azonnal összefagy. A jég ugyanis a mintában számtalan kis darabra töretik, melyek ismét összeforrnak és folytonos átlátszó testet képeznek. Hasonló módon lehet négyszögletes jégrudat hengerré alakítani, mint ha a jég plastikus test volna.

MÁSODIK FEJEZET.

A párolgással járó tüneményekről.

I. A páraképzésről.

1. **A forrás.** — Láttuk, hogy ha a szilárd testeket bizonyos mérsékletig hevítjük, folyós állapotba mennek át; ha a folyadékokat tovább hevítjük, úgy mindenekelőtt kiterjednek; de bizonyos mérsék-

letnél az olvadással analog tüneményt mutatnak, a harmadik állapotba mennek át, gőzzé változnak.

Ha például a 100 fokig hevített vízhez még több meleget vezetünk, úgy a víz tömegéből buborékok keletkeznek, melyek a fölöttök lévő vízet részben fölemelik, a mi ismét lezuhan, a mint a buborékok kiszabadulnak. A buborékok az emelkedés alatt mindinkább nagyobbodnak, és ha a felszínre érnek szétpattannak, mialatt a bennök foglalt gőz a levegővel keveredik, és felhő alakjában láthatóvá lesz. A folyadék ezen állapotát *forrásnak* nevezzük.

Fönnebb már láttuk, hogy a forró folyadék mérséklete állandó marad, ha a légnyomás nem változik.

Az a mérséklet, melynél a különböző testek forrnak igen különböző, némelyek már igen mély mérsékletnél forrnak, így például a kénessav — 10 foknál, a kénäther 36, alkohol 78 foknál forr, mások csak igen magas mérsékletnél forrnak, így a higany 350, lenolaj 316, phosphor 290 foknál forr. Sőt némely testeket, mint a nehezen olvasztható fémeket, még nem sikerült a forrásig hevíteni, de jogosan tehetjük fel, hogy ezeket is lehetne forrásra bírni, ha elég magas mérsékletet volnánk képesek előállítani.

Néhány folyadék forró pontja 760^{mm} nyomás alatt:

Higany	350^0	Víz	100^0
Kénsavhydrat . .	325	Salétromsav . .	86
Kén	447·5	Benzol	80·4
Terpentinolaj . .	293	Alkohol	78·4
Phosphor . . .	290	Kénsav, vízment .	25
Jod	175		

2. **A forrópont változása állandó nyomásnál.** — Előbb azt állítottuk, hogy valamely folyadék forró mérséklete 760^{mm} nyomás alatt állandó és mindig ugyanaz. Ha ez alatt azt a mérsékletet értjük, melyet egy, a forró folyadékba mártott hőmérő mutat, úgy ezen állítást teljesen igazolva nem találjuk, hanem határozottan észrevehető változások mutatkoznak, az edény falának minősége szerint, melyben a folyadék forr. Már Gay-Lussac találta, hogy üvegedényben a víz magasabb mérsékletnél forr, mint fémedényben; az utóbbiban, bármilyen is volt az edény alakja és nagysága, a víz 100 foknál forrott.

Később Marcet körülményesen vizsgálta meg e kérdést, és megmutatta, hogy a forró folyadék mérséklet-változása a folyadék és az edény közti tapadástól függ. Minél nagyobb a folyadék és az edény anyaga közti tapadás, annál magasabb a forró pont.

De a forró folyadékoknak az edény minőségétől függő mérséklet-változása dacára helyes azon állítás, hogy valamely folyadék forró pontja ugyanazon nyomás alatt állandó; ha a folyadék forró pontja alatt nem a bemártott hőmérő által adott mérsékletet értjük, hanem azt, melyet a hőmérő mutat, ha a forró folyadékból származó gőzök

által tökéletesen körül van véve. Már Rudberg alapítá erre a hőmérők forró pontjainak meghatározási módját.

Nagyobb mértékben változik a folyadékok forró mérséklete akkor, ha benne szilárd testek, melyek a forrás alatt el nem párolognak, fel vannak oldva. A sóoldatokból is csak tiszta víz párolog el, mit abból látunk, hogy valamely oldat elpárologtatása által az egész sótartalmat nyerjük. Tehát itt is csak a víz változik át gőzalakúvá, és mégis magasabb mérsékletnél forrnak a sóoldatok, mint a tiszta víz; és pedig annál magasabb mérsékletnél, minél nagyobb a sótartalom.

3. **A forró pont változása a nyomással.** — Már fönnebb láttuk, hogy valamely folyadék forró pontja megváltozik azon nyomással, mely alatt a folyadék áll. Igy például 733^{mm} nyomás alatt a víz már 99 foknál, 760^{mm} alatt már 98·5 foknál forr. Ellenben 770^{mm} nyomás alatt a víz 100·4 foknál és 1075^{mm} alatt 110 foknál forr.

Ha 50 fokra hevített vizet a légszivattyú burája alá helyezünk, melyből a levegőt gyorsan kiszivattyúzzuk, mig a manométer körülbelül 90^{mm}-t mutat, úgy a víz mohón kezd forrni. Az egész folyadékban ép úgy képződnek gőzbuborékok, melyek emelkedve nagyobbodnak, és a vizet élénk mozgásban tartják meg, mint ha azt közönséges légnyomás alatt 100 foknál forraljuk.

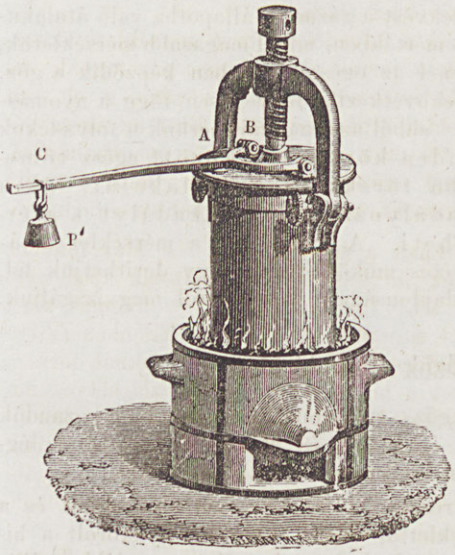
A következő kisérlettel szintén igen egyszerű módon hozhatjuk alacsony mérsékletnél a vizet forrásba. Ha ugyanis a vizet hosszú nyakú lombikban forraljuk, mindaddig, mig a származott gőzzel valamennyi levegő az edényből kiüzetett, és azután a lombikot légmentesen elzárjuk (219. ábra), úgy a víz csak a saját gőzéből származott nyomás alatt van. A kihűlés következtében a forrás megszünik; de ha a lombikra tett jégdarabok, vagy hideg víz által a gőzt lehűtjük, ennek egy része vízzé sűrűl, miáltal a nyomás kisebbedik, és a víz az alacsonyabb mérsékletnél ismét forrásnak ered.

219. ábra.



4. **Papin edénye.** — A mondottak következménye, hogy vizet 100 fokon fölül, és általában valamennyi folyadékot a közönséges nyomás alatti forró mérsékletükön fölül vagyunk képesek hevíteni, ha eléggé erős elzárt edényekben hevítjük azokat. Papin, már a tizenhetedik század végén szerkesztett e célra igen alkalmas edényt. Ez egy erős vas- vagy

220. ábra.



rézhengerből áll (220. ábra), mely erősen rácsavart födéllel van elzárva. A födél nyilással van ellátva (A), melyen a képződött gőz kiszabadulhat, ha a BAC biztosító szelep a nyilást el nem zárja. Ha a vizet hevítjük, a gőz mindinkább fejlődik, és nyomása addig növekedik, mig vele a szelepre függesztett P' súly egyensúlyt tart. A mint a gép nyomása ezen fölül emelkedik, kinyitja a szelepet és a gőz egy része kiszabadul, mig a nyomás ismét a szelep súlya által megszabott határon belül van. Tehát a súlynak ide-oda tolása által a gőz nyomását bizonyos tetszés szerinti nagyságig növeszthetjük. Ezáltal a víz az edényben bizonyos állandó mérsékletnél forr, mely annál magasabb, minél nagyobb a szelep nyomása. A végső határt csakis az edény erőssége korlátozza.

Ha a biztosító szelepet rögtön kinyitjuk, úgy A-nál pisszegő zajjal tódul ki a gőz, melynek mérséklete néhány centiméter távolságra a nyilástól oly alacsony, hogy a kezet meg nem sérti; ez alatt az edényben a víz rögtön 100 fokra hűl le, pedig 120 egész 130 fokú volt; és a most már lassan kiszabaduló gőz is csak ezzel a mérséklettel bír.

5. **Páraképzés forrás nélkül.** — A folyadékok nem csak a forrásnál, hanem a forró mérsékleten alul is gáznemű állapotba mennek át; habár ekkor a gőz nem mint a forrásnál, a folyadékok belsejében, hanem csak felületükön képződik. A legegyszerűbb bizonyíték arra, hogy a folyadékok alacsony mérsékletnél elpárologna k az, hogy a szabad levegőnek kitett edényből a folyadék lassan eltünik, a mi csak úgy lehetséges, hogy az gőzalakban elszáll. Továbbá a szagos folyadékoknál szaguk által győződünk meg róla, hogy belőlök gőzök keletkeznek.

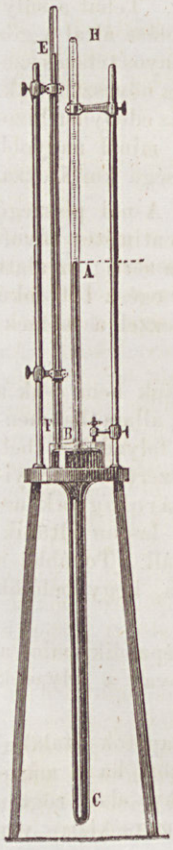
Alacsony mérsékletnél a gőz sokkal lassabban képződik, mint a forrásnál, és pedig annál lassabban, minél távolabb van a folyadék mérséklete a forrás mérsékletétől.

Lényeges különbség mutatkozik tehát a halmazállapotok átalakulásánál, ha a testek az elsőből a másodikba, és a között ha a másodikból a harmadik halmazállapotba mennek át. Az első rögtön megy végbe, és csak akkor, ha a test az olvadó mérsékletre van

hevítve, míg a másik változás minden mérsékletnél megtörténik; a folyadékok szüntelen mutatják a törekvést a gáznemű állapotba való átalakulásra, csak hogy annál nagyobb mértékben, minél magasabb mérsékletük, mig végre a forrás mérsékleténél az egész tömegben képződik a gőz. De a mérséklet, melynél ez bekövetkezik, lényegesen függ a nyomástól, mely alatt a folyadék áll; ebből azonnal ráismerünk a folyadékok azon tulajdonságára, hogy minden körülmény között egész tömegükben gőznemű állapotba törekszenek átalakulni, de a külső nyomás ezt megakadályozza, mely akadályt a mérséklet növekedése legyőzheti. A nyomás és a mérséklet határozott összefüggését ezen ellentétes működésükben úgy deríthetjük fel, hogy a származott gőzök tulajdonságait közelebbről megvizsgáljuk.

II. A gőzök üres térben.

221. ábra.



A vízgőz tulajdonságait tanulmányozandók Lavoisier, Laplace és Watt a barométer légüres terébe néhány csep vizet bocsátottak.

A víz részben vagy egészben elpárolgott és a gőz a mérséklettől függő nyomást gyakorolt a higanyoszlopra, minek következtében ez alább szállt. E higanyoszlop és a barométer közötti magasságkülönbség mutatja a vízgőz feszítő erejét.

E feszítő erő méréséből különböző mérsékletnél kitünt, hogy két egymástól lényegesen különböző esetet kell megkülönböztetni és pedig először azon esetet, melyben a barométerben csupán gőzök vannak, és másodszor azt, melynél a barométer a gőzökön kivül még el nem párolgott folyadékot is tartalmaz.

1. **Nemtelített gőzök.** — Ha a HAB (221. ábra) föl- és lemozgatható barométercső ürében valamely folyadék gőze foglaltatik, úgy e csőnek emelése vagy süllyesztése által a gőz térfogatát tetszőlegesen megváltoztathatjuk, és a különböző térfogatoknak megfelelő nyomásokat a mellette lévő EF barométerrel való összehasonlítás által leméerhetjük. Ily módon kiderül, hogy a gőzök ép úgy hódolnak a Mariotte-féle törvénynek mint a gázok. Ha például a készüléket környező levegő mérséklete állandóan 20 fok és a csövet annyira szorítjuk az edénybe, hogy a gőz térfogata eredeti térfogatának felére csökken, úgy azt fogjuk találni, hogy a higany közel mégegyszer annyi miliméterrel szoríttatik alább, mint az eredeti állásban. Ha ellenben a csövet fölemeljük, akkor azt találjuk, hogy a gőz nyo-

mása azon arányban csökken, a melyben térfogata növekedik. Hogy ha tehát két esetben a gőz térfogatát v és v'-el jelöljük, és a megfelelő nyomásokat h és h'-el, úgy mindig megközelítőleg

$$v \cdot h = v' h'$$

Ugyan e készülékkel lehet azt is megmutatni, hogy a gőzökre a Gay-Lussac-féle törvény is áll; hogy t. i. a gőzök kiterjedése a mérséklettel úgy függ össze, hogy állandó nyomásnál megközelítőleg

$$v : v' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha t'$$

és hogy a kiterjedési együttható α a gázokéval egyenlő. E célra az egész készüléket vízfürdőbe helyezzük, melynek mérsékletét pontosan meghatározzuk.

A Mariotte-féle törvény tehát a gőzökre is érvényes, csak hogy az eltérések itt nagyobbak, mint a gázoknál, és pedig annál nagyobbak, minél nagyobb a nyomás, mely alatt a gőzök állanak, vagy minél nagyobb feszítő erejök. De egy bizonyos, a mérséklettől függő nyomásnál a törvény megközelítőleg sem érvényes, és e bizonyos nyomás nem változik meg a térfogattal; hanem ha a térfogatot tovább kisebbítjük, a gőzök egy része visszaalakul folyós állapotba: a gőzök lecsapódnak. Ekkor a második eset áll be, melynél a gőz el nem párolgott folyadékkal érintkezik.

Azon gőzök, melyek a folyadékkal nincsenek érintkezésben, és bizonyos határig a Mariotte- és Gay-Lussac-féle törvénynek hódolnak, nemtelített gőzöknek neveztetnek.

2. **Telített gőzök.** — Ha a barométer terében a gőzön kivül még folyadék is foglaltatik, a melyből a gőzök származtak, úgy, a mint már előbb említettük, bármennyire is nagyítjuk a gőz térfogatát, a nyomás mindig állandóan ugyanaz marad. Ez csak ugy lehetséges, ha minden térfogatnagyobbodásnál új gőz képződik a folyadékból. Az ellenkező történik, ha a térfogatot kisebbítjük, a gőz feszítő ereje ugyanis ez által nem fog nagyobbodni, hanem annál több gőz csapódik le, minél kisebb lesz a térfogat. Ezt addig folytathatjuk, mig az egész gőz eltünik, és a tért csak a folyadék tölti be. A gőz képződése egyrészt, és másrészt annak lecsapódása mindig oly mértékben történik, hogy az uralkodó, állandó mérsékletnél a gőz feszítő ereje és sűrűsége állandó marad. Ez a feszítő erő tehát a legnagyobb, a mit a gőz e mérsékletnél elérhet, és azért ezt azon gőz legnagyobb feszítő erejének nevezzük; a gőzt pedig telített gőznek mondjuk. Valamely folyadék gőzének feszítő ereje alatt telített gőzének feszítő erejét fogjuk érteni.

A mérséklet befolyása a telített gőzre egészen más, mint a nemtelítettre. A mérséklet emelése által nem csak a meglévő gáz feszítő erejét növesztjük, hanem — e növekedett nyomással biró — új menyiségü gőz fejlődik, úgy, hogy a feszítő erő sokkal nagyobb mértékben növekszik mint a Gay-Lussac-féle törvény szerint. Valamely folyadék telített gőze minden mérsékletnél bizonyos meghatározott feszítő

erővel bír, mely feszítő erő gyorsan, de a folyadék minőségétől függő törvény szerint növekszik.

Mig tehát a gázok és a nem-telített gőzök feszítő ereje a tértől, melyet betöltenek, és mérsékletétől függenek, addig a telített gőzök feszítő ereje csupán mérsékletüktől függ.

Nem-telített gőzt két módon változtathatunk át telített gőzzé, t. i. vagy a térfogatot kell kisebbítenünk, vagy a mérsékletet alább szállítanunk. Ha valamely gőzmennyiség térfogatát kisebbítjük, mialatt mérsékletét állandóan megtartjuk, úgy végre azt a sűrűséget éri el, melylyel az e mérsékletnél telített gőz bír, és a további térfogatkisebbítésnél a gőz egy része lecsapódik. Itt azonban tekintetbe kell vennünk (mit alább tüzetesen megvizsgálandunk) hogy a gőz összeszorítása által tetemesen felmelegszik, úgy, hogy ha az összenyomás oly gyorsan történik, hogy az ez által emelkedett mérséklet a környezet mérsékletével ki nem egyenlődhet, nem fogunk telített gőzt nyerni, hanem azt inkább a telítéstől távolabb fekvő állapotba hozzuk.

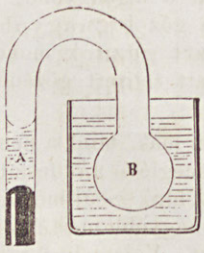
Ha a nem-telített gőz mérsékletét alább szállítjuk (tegyük állandó térfogatnál) úgy azon mérsékletre kell jönnünk, melynél a meglevő gőz legnagyobb sűrűségét éri el. További mérsékletcsökkenésnél a gőz egy része ismét lecsapódik.

Ebből látjuk, hogy minden nem-telített gőzre nézve létezik olyan mérséklet, melynél telített gőzzé változik át. Minden nem-telített gőzt pedig az által képzelhetjük előállítva, hogy a térben, melyet elfoglal, telített gőz — mely azonban folyadékkal már érintkezésben nincs — a telítés fokán túl lett hevítve. Ezért a nem-telített gőzt *túlhevített gőznek* is szokás nevezni.

Ha a folyadékkal érintkező gőz különböző helyen különböző mérsékletü, úgy még egy másik különbség is mutatkozik a telített gőzök és a gázok között; a gőz ugyanis a legalantabb mérsékletnek megfelelő feszítő erővel bír.

Erről a 222. ábrában lerajzolt készülékkel győződhetünk meg. Az A barométercső, melyben a folyadék és ennek gőze foglaltatik, a B üveggömbbel áll összeköttetésben; ez utóbbi jéghideg vízzel van körülvéve. A gőz ekkor a jég mérsékletének megfelelő feszítő erőt mutatja, mint ha a csőben is e mérsékletre volna lehűtve.

222. ábra.



E tünemény oka abban rejlik, hogy a gőz a B gömbben nagyobb feszítő erővel nem bírhat, mint a mely 0 foknak megfelel. Az A csőben az ott uralkodó mérsékletnek megfelelő feszítő erővel bíró gőz fejlődik, de ez, a mint a B gömbbe ér, részben lecsapódik, erre az A csőben újra fejlődik gőz, és ez addig folytatódik, mig az egész folyadék A-ból B-be átdestillált, és a gőz egyenletesen megtartja a 0 foknak megfelelő feszítő erőt.

III. A telített gőzök feszítő erőinek megmérése.

1. A mint láttuk, valamely folyadék telített gőzének feszítő ereje csupán mérsékletétől függ, de azt a törvényt, mely szerint e feszítő erő a mérséklettel növekszik eddig felállitani még nem sikerült. Ezen összefüggés csak direkt mérések által határozható meg.

Használhatjuk erre az előbb leírt kisérletet a barométercsővel, mely célra az egész készüléket vízfürdőbe kell helyezni, hogy a gőz mérsékletét pontosan megadhassuk. Dalton volt az első, ki a telített vízgőz feszítő erejét ily módon nagyobb pontossággal meghatározta.

2. **A forró vízből származó gőz feszítő ereje** egyenlő a külnyomással. Ezen törvényt Gran 1770 körül azon alkalommal fedezte fel, midőn a forró víz mérsékletét alacsony nyomás alatt megmérte. Különben helyessége belátható; minthogy a vízben fejlődő gőzök csak akkor szabadulhatnak ki, ha a rájuk gyakorolt nyomást legyőzhetik, e nyomás pedig a levegő és magának a víznek súlyától származik, mely utóbbi az elsőhöz képest elenyésző csekély.

E törvényre alapított módszer segítségével határozta meg Regnault a vízgőz feszítő erejét egész 230 fokig, illetőleg 30 atmosphära nyomásig.

Gay-Lussac a vízgőz feszítő erejét 0 fok alatt vizsgálta meg. E vizsgálatait azon tényre alapította, mely szerint a telített gőzök feszítő ereje nem egyenletesen melegített térben akkora, a mekkora a legalacsonyabb mérsékletnek megfelel. A gőzt tartalmazó csövet egy üveggömbbel kötötte össze, mint azt a 222. ábrában láttuk, és e gömböt hideg keverékkel borította el. A megmért feszítő erő azon mérsékletre vonatkozik, melylyel az üveggömb bír.

A telített vízgőz feszítő erejének táblázata.

t^0	*mm*	t^0	*mm*	t^0	*mm*
— 32	0,32	20	17,39	110	1075,37
31	0,35	30	31,55	120	1491,28
30	0,39	40	54,90	130	2030,28
25	0,60	50	91,98	140	2717,63
20	0,93	60	148,79	150	3581,23
10	2,09	70	233,09	160	4651,62
0	4,60	80	354,64	170	5961,66
+ 1	4,94	90	525,45	180	7546,39
2	5,30	98	707,28	190	9442,70
3	5,69	99	733,30	200	11688,96
4	6,10	100	760,00	210	14324,80
5	6,53	101	787,59	220	17390,36
10	9,16	102	816,01	230	20926,46

3. **Sóoldatokból keletkező gőzök feszítő ereje.** — A vízgőz feszítő erejére fönt adott értékek csak akkor érvényesek, ha a gőz tiszta vízből származik; mert a vízgőz feszítő ereje megváltozik, ha a vízben sók vagy más szilárd testek vannak föloldva. Már régen észleltetett, hogy oldatokból keletkező gőzök feszítő erői kisebbek, mint a tiszta vízből fejlődőké, de a kérdést csak legujabb időben Babo és Wüllner oldották meg kellő szabatossággal, megmutatván, hogy a sóoldat a gőz feszítő erejét mindig alább szállítja, és pedig úgy, hogy a feszítő erő kisebbedése általában arányos a feloldott só mennyiségével, és a mérséklet növekedésével.

Ezen eredményt azon tapasztalat is igazolja, hogy a forró sóoldatokból keletkező gőzök mérséklete nagyobb, mint az ugyanazon nyomás alatt forró tiszta víz gőze. Mert ha ugyanazon mérsékletnél a sóoldatból keletkező gőz kisebb feszítő erővel bír, mint a tiszta víz gőze, úgy az elsőnek nagyobb mérsékletünek kell lennie, mint az utóbbinak, hogy a légnyomással egyenlő feszítő erővel bírjon. Ez csakis onnan eredhet, hogy a sóoldatokból keletkező gőzök túlhevített állapotban vannak.

4. **A hőmérő forró pontjának meghatározása.** — Minthogy a forró vízből származott gőz mérséklete lényegesen függ a külnyomástól, azért a hőmérő második állandó pontját közvetetlenül meghatározni nem lehet; a barométer ugyanis a legritkább esetben fogja épen a 100 foknak megfelelő 760^{mm}-t mutatni. Azért, ha a hőmérőt a forró víz gőzébe merítettük, az a pont, melynél a higany állandóan megáll, nem a 100 fokot, hanem a barométer-nyomásnak megfelelő mérsékletet jelöli.

5. **Magasságmérés hőmérővel.** — Ennek alapján a forró víz gőzének mérsékletéből a barométer-nyomásra lehet következtetni. Hogy ha tehát két ily mérséklet-meghatározást végezünk, valamely hegy tövénél és annak csucsán, úgy az illető barométer-nyomásokat ismerjük, melyekből a hegy magasságát kiszámíthatjuk. Az e célra használt hőmérőket hypsométer-eknek nevezik; ezek csak nehány fokkal bírnak, rendesen 90-től 101-ig, mely fokok 50-ed részekre vannak felosztva, úgy, hogy a leolvasásban $^1/_{100}$ foknyi hibát ki lehet kerülni. $^1/_{100}$ fok 0·26 milliméter nyomás-különbségnek és ez körülbelül 2·6 méternyi magasságkülönbségnek felel meg.

6. **Különböző gőzök feszítő erői.** — Regnault ugyanazon készülékkel, melylyel a vízgőz feszítő erejét meghatározta, egyéb folyadékokból származó gőzök feszítő erőit is megvizsgálta. Oly törvényt, melylyel a folyadékok ismeretes tulajdonságaiból a gőzök feszítő erejét kiszámítani lehetne, eddig még nem sikerült felállítani. A következő táblázat Regnault eredményeinek egy részét tartalmazza.

Mérséklet	Alkohol	Aether	Szénkéneg	Higany
	gőzök feszítő erői mm-ben			
— 20	3·34	67·49	43·48	—
0	12.83	183·34	131·98	0·02
+ 10	24.30	286·40	203·00	0·03
50	219·88	1271·12	856·71	0·11
100	1694·92	4950·81	3329·54	0·75
120	3219·68	7702·20	5115·43	1·53
300	—	—	—	242·15
500	—	—	—	6520·25

7. Folyadékkeverékekből származó gőzök feszítő erői. — Sokáig elterjedve volt azon vélemény, hogy a gőzök is oly módon keverődnek, mint a gázok, hogy t. i. a gőzkeverék feszítő ereje akkora, mint az egyes gőzök feszítő erőinek összege.

De Magnus e szabály helytelenségét kisérletileg bebizonyította, és megmutatta, hogy az csak olyan folyadékokra áll, melyek, mint víz és olaj, nem keverődnek; mig ellenben egymással keverődő folyadékokból származó gőzök feszítő erői sokkal csekélyebbek, sőt az illob folyadék gőzének feszítő erejét el sem érik. Igy például, ha aethergőzt tartalmazó barométercsőbe alkoholt bocsátunk, úgy a nyomás azonnal kisebb lesz.

IV. A gőzök sűrűségéről.

1. A gőzök sűrűségét ép úgy, mint a gázokét a levegőre vonatkoztatjuk, mint egységre; ennélfogva valamely adott térfogatú, mérsékletü és nyomású gőz sűrűségét megkapjuk, ha ennek tömegét az egyenlő körülmények közt lévő levegő tömegéhez viszonyítjuk. S minthogy a tömegek arányosak súlyaikkal, azért ez utóbbiak viszonya fogja megadni az illető gőz sűrüségét. Tehát a gőz sűrűsége $d = \frac{s}{s'}$. Ha s és s' ugyanazon p nyomás alatt v térfogatban foglalt t mérsékletü gőz és levegőnek súlya.

A nemtelített gőzökre nézve, melyek majdnem úgy követik a Mariotte-féle törvényt, mint a gőzök, d egyszermindenkorra meghatározható állandó. Gay-Lussac ezen állandót 0·6235-nek találta, a mi közel $^5/_8$. Azaz a nemtelített vízgőz sűrűsége a vele egyenlő körülmények közt lévő levegő sűrűségének $^5/_8$-át teszi.

A telített gőzök sűrűségét és azokét, melyek a telítéshez közel vannak, esetről esetre kell meghatározni. E fáradságos méréseket Gay-Lussac és Dumas eszközölték. Ujabb időben ismét Regnault tett pontosabb méréseket.

2. A túlhevített gőzök elméleti sűrűségei. — A nemtelített gőzök állandó sűrűségét Gay-Lussac által felfedezett, különösen a chemiára nagy fontossággal bíró törvényből elméletileg lehet kiszámítani. Gay-Lussac ugyanis azt találta, hogy ha két gáz vagy gőz egymással egyesül, úgy a vegyület térfogata és az elemek egyenlő körülmények közt vett térfogatai mindig igen egyszerű viszonyban vannak egymáshoz. Igy például 2 térfogat hydrogen és 1 térfogat oxygen épen 2 térfogat vízgőzt képez. S minthogy a vegyület tömege akkora, mint az elemek tömegei, azért

$$v_1 d_1 + v_2 d_2 = V D$$

hol a kis betük az elemek, a nagy betük pedig a vegyület térfogatait és sűrűségeit jelölik. A víznél $v_1 = 2$, $v_2 = 1$ és $V = 2$, a hydrogen sűrűsége 0·069, az oxygené 1·106, tehát

$$2 \cdot 0\,069 + 1 \cdot 106 = 2D$$

a miből D a vízgőz sűrűsége $= 0 \cdot 623$, mely érték a kisérleti eredményekkel összevág.

A gőzsűrűségek közelebbi vizsgálatánál nem csak a fönt idézett térfogatok törvénye nyert általános érvényt, hanem az azon határozott alakot nyerte, mely szerint *minden test gőzsűrűsége arányos molekulársúlyával*. Vagyis, ha a gőzsűrűséget ugyanazon egységre vonatkoztatjuk, mint a molekulársúlyt, t. i. hydrogenre, úgy mindkettő ugyanazon szám által fejezhető ki. E törvény, mely a chemiában korszakot alkotott, szorosan függ össze a gázok elméleténél tárgyalandó *Avogadro*-féle törvénynyel, mely szerint különböző gázokból egyenlő térfogatban ugyanazon nyomás- és mérsékletnél, egyenlő számú molekülök foglaltatnak. E törvényből ugyanis közvetetlenül következik az előbbi, mert ha két gáz egyenlő térfogatában egyenlő számú molekülök foglaltatnak, úgy ezek súlyai arányosak lesznek az egyes molekülök súlyaival, vagyis a molekulársúlyokkal.

E törvény a chemiában azért oly fontos, mert ez szolgáltatja sokszor az egyedüli módot valamely test molekulársúlyának meghatározására. Épen ez indította a vegyészeket arra, hogy a higany moleküljének egy atomot, az oxygen, hydrogen s a t.-nek kettőt, az arsen, phosphor moleküljeinek pedig 4 atomot tulajdonítsanak.

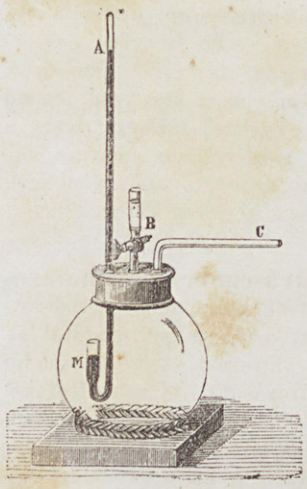
V. A vízgőz sűrűsége a levegőben.

1. Párolgás gázt tartalmazó zárt térben. — Eddig csak üres térbe zárt gőzökkel foglalkoztunk. Azonban, ha a természetben nagy szerepet játszó vízgőz tulajdonságait kivánjuk tanulmányozni, úgy a vízgőz magatartását levegővel telt térben kell megvizsgálnunk. E célra először levegővel telt zárt térben vizsgáljuk meg azt, miből azután könnyű lesz légkörünkre vonatkozó következtetéseket vonni. Fönt láttuk, hogy üres térbe bocsátott folyadékból annyi gőz fejlődik, hogy az az uralkodó mérsékletnél telítve van. Kérdés, hogy ha

a tér már valamely gázt tartalmaz, ugyanannyi gőz fejlődik-e a folyadékból, mint az első esetben.

Dalton a vízgőz feszítő erejét levegővel telt térben a 223. ábrában látható készülékkel vizsgálta meg. Egy üveglombik dugaszán keresztül légmentesen van beillesztve az AM barométer, a B csappal ellátott tölcsér és a C üvegcső. Ez utóbbit egy szárító készülékkel és a légszivattyúval kapcsoljuk össze, miáltal a lombikot száraz levegővel tölthetjük meg. Ha a lombik már teljesen kiszárított levegőt tartalmaz, feljegyezzük az AM barométerrel mért nyomást, és mérsékletét, melyet egyenlőnek vehetünk a környezet mérsékletével. Ezután a tölcséren át kevés vizet öntünk a lombikba, és az ennek elpárolgása által növekedett feszítő erőt ismét lemérjük. Ha nem az egész víz párolog el, úgy a feszítő erő növekedése épen akkora, mint a telített vízgőznek az uralkodó mérsékletnél megfelelő feszítő ereje. A miből következik, hogy a vízgőz sűrűsége is épen akkora, mint ha a víz légüres térben párolgott volna el. Ugyanezt találta Gay-Lussac.

223. ábra.



Regnault ugyan e kérdést körülményesen tanulmányozván, azt találta, hogy a vízgőz gázzal, illetőleg levegővel telt térben nem éri el tökéletesen az uralkodó mérsékletnek megfelelő legnagyobb feszítő erejét. De a különbségek oly csekélyek, hogy tökéletesen megmagyarázhatók oly módon, mint a gázoknak a Mariotte-féle törvénytől való eltérései. Valamint a gázok növekedő sűrűségökkel nagyobb mértékben térnek el a Mariotte-féle törvénytől: úgy a gőzök annál kevésbbé érik el telített állapotuknak megfelelő feszítő erejöket, minél nagyobb sűrűségü gázzal keverődnek.

Ha a gőz túlhevített állapotban keverődik valamely gázzal, úgy annál inkább alkalmazhatjuk a Dalton-féle törvényt, mert, a mint láttuk, a túlhevített gőzök tökéletesen a gázok tulajdonságaival bírnak. A gázkeverékekről pedig tudjuk, hogy mindegyik úgy tölti be az egész tért, mint ha a többi ott sem volna.

2. **Párolgás a szabad levegőn.** — Az előbbi pontban tárgyalt Dalton-féle törvény értelmében valamely folyadék addig párolog, mig a fölötte lévő tér saját gőzével telítve nincsen, tekintet nélkül arra, hogy azon tér gázokat tartalmaz-e vagy sem. Azért, ha vizet szabad levegőre teszünk, az folytonosan párologni fog. A víz fölötti tér ugyan csakhamar megtelik a gőzökkel, de ez folytonosan oly helyekre diffundál, hol nálánál kisebb feszítő erővel bíró gőz van.

Minthogy pedig légkörünk folytonosan nagy terjedelmü vízfelületekkel érintkezik, szükségkép nagy mennyiségü vízgőzt kell tartalmaznia, mely vízgőz részint diffusio, részint a levegő mozgása által oly helyekre is terjed, melyeknél a levegő közvetetlenül vízzel nem érintkezik. A párolgás valamely helyen annál gyorsabb lesz, minél nagyob gőzt tartalmaz már a levegő, és minél magasabb a víz mérséklete. Dalton a párolgás gyorsaságára tett kisérleteiből találta, hogy bizonyos adott időben elpárolgó víz mennyisége arányos a víz mérsékletének megfelelő telített vízgőz feszítő erejének — és a levegőben foglalt vízgőz feszítő erejének különbségével; továbbá fordított arányban van a környező levegő nyomásával, melyet a barométer ad meg. Ezekből látható, hogy a párolgás sokkal lassúbb nyugvó levegőben, mint szélben, mert az első esetben a származott gőz csak diffusió által terjed tovább, a mi igen lassan történik, míg a szél által folytonosan uj levegőrétegek érintkeznek a folyadékkal.

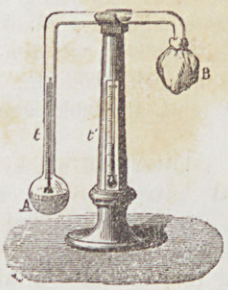
3. **A levegőben foglalt vízgőz sürüségének meghatározása.** — Azon tapasztalat, hogy némely test a levegőből a nedvességet magába felveszi vagy a már felvett nedvességet magától elbocsátja, és ez által könnyen észlelhető változást szenved, módot nyujtott a levegő nedvességének meghatározására. Ilyen testeket hygroscopikusaknak nevezünk. Ide tartozik majdnem minden kiszárított szerves test, mely ha nedvességet magába felvesz, felduzzad, vagy kiterjed. Igy például fa, halcsont, hegedűhúrok, ha nedvességet felvesznek, inkább szálaikra merőlegesen terjednek, tehát megvastagodnak, mig a haj meghosszabbodik vagy megrövidül a szerint, a mint nedvességet felvesz vagy elbocsát.

Saussure a haj ezen tulajdonságát felhasználta oly készülék előállítására, mely a levegő vízgőz tartalmát megadja azon vízgőzmennyiség százalékjában, mely ugyanazon mérsékletnél a levegőt épen telítené.

Azonban e készülék megbizható eredményeket nem ad.

Daniell ettől egészen eltérő módszerrel a levegő vízgőzének feszítő erejét a kellő pontossággal határozta meg. Ő azon mérsékletet határozza meg, melynél a levegő a benne foglalt gőzmennyiség által épen telíttetnék. Mert ha a levegőt valamely kisebb helyen lehűtjük, ez által a barométer állása nem változik: a lehült levegő- és gőzkeverék a magasabb mérsékletűvel egyensúlyt tart. De ilyenkor, a Dalton-féle törvény szerint a gőz és levegő külön-külön tartanak egymással egyensúlyt, a miből következik, hogy a telítéseig lehűtött vízgőz feszítő ereje épen akkora, mint az őt környező magasabb mérsékletü vízgőzé. Ebből egyszersmind látjuk, hogy a levegőben foglalt vízgőz feszítő ereje nem függ a mérséklettől, hanem csupán a gőz mennyiségétől. Ha ezt hevítjük, úgy szabadon kiterjed anélkül, hogy feszítő ereje növekednék. — Daniell hygrométerje egy, kétszer derékszög alatt meghajtott üvegcsőből áll, melynek mindkét végére egy-egy vékony falu gömb van fúva. (224. ábra.) A csövet tartó áll-

224. ábra.



ványra egy hőmérő (t') van erősítve, mely a levegő mérsékletét adja meg. A cső légüres, de az A gömbben aethert tartalmaz, melybe egy érzékeny hőmérőnek, t-nek gömbje merül. B gömb fátyolszövettel van körülvéve, mig A közepe táján gyűrűalakú aranyozás van. Ha az észlelő kis távolságra úgy áll, hogy az ég kisebbített képét az aranyozott részen tisztán látja, akkor ez utóbbinak legkisebb elhomályosodását azonnal észre veszi.

Ha a B gömböt burkoló szövetre óvatosan aethert csöpögtetünk, úgy ennek gyors elpárolgása által a gömb lehűttetik (ennek okát alább fogjuk látni), ezáltal a benne foglalt telített aethergőz egy része lecsapódik, minek következtében az A-ban foglalt aetherből új gőz fejlődik, miáltal a hátra maradt folyadék edényével együtt lehűl. Ha az A gömb ily módon a levegőben foglalt vízgőz telítő mérsékleteig hűl le, akkor a gömb harmattal vonul be, mit az arányozáson, az általa visszavert világosság elgyengüléséből azonnal észre lehet venni. Ezt a mérsékletet az aetherbe merülő t hőmérőn olvassuk le. Ha még megfigyeljük a valamivel magasabb mérsékletet, melynél a harmat eltünik, úgy pontosabban következtethetünk azon közbeeső mérsékletre, melynél a telítés beállott.

Regnault e módszert tökéletesbítette, úgy hogy vele igen pontos méréseket lehet eszközölni.

A levegő nedvességének meghatározása különösen a meteorologiára nagy fontossággal bír, minthogy e nedvesség az időjárásra nagy befolyást gyakorol. De itt nem annyira közvetetlenül a vízgőz feszítő ereje szerepel, mint inkább azon kérdés, hogy a levegőben foglalt vízgőz mily közel vagy távol van telítésétől, mert ettől függ a víznek lecsapódása. A vízgőz feszítő ereje pedig két esetben egyenlő lehet, és az egyikben (alacsonyabb mérsékletnél) már telített állapotban, míg a másik esetben (magasabb mérsékletnél) még igen távol lehet a telített állapottól. Ezért a levegő nedvessége alatt azon viszonyt értjük, melyben a vízgőz feszítő ereje a mérsékletének megfelelő legnagyobb feszítő erőhöz van. A levegő nedvességfokát, n-t megkapjuk, ha az előbbi módszerek egyikével meghatározott feszítő erőt, a levegő mérsékletének megfelelő telített vízgőz feszítő erejével, P-vel osztjuk, úgy hogy

$$n = \frac{p}{P}$$

VI. A gázoknak folyadékokká való sürítése.

1. A gázok két tulajdonság által vannak jellemezve: 1. hogy a Mariotte-féle törvényt követik, azaz, hogy feszítő erejök fordított arányban van térfogatukkal; 2. hogy a Gay-Lussac-féle törvényt köve-

tik, vagyis minden fokra térfogatuk $^1/_{273}$-ad részével terjednek ki. S miután a gőzök is e törvényt követik, úgy lényeges különbség e kettő között nincs. Kérdés már most, hogy ha a gőzök teljesen a gázok szerepét játszák, vajjon az utóbbiak nem bírnak-e a gőzök tulajdonságaival is, t. i. nincs-e feszítő erejöknek egy, a mérséklettől függő legnagyobb értékök, melyen túl összesűrítve, úgy mint a gőzök, egy részök folyadékká változik át.

Csakugyan sikerült is valamennyi gázt, — a következő hat kivételével: oxygen, nitrogen, hydrogen, szénoxyd, nitrogenoxyd, és mocsárlég — részint nyomás, részint hűtés által, részint pedig mindkettő együttes alkalmazása által, folyadékká sűríteni. Kénessav-, cyan- és ammoniak-gázokat a közönséges légnyomásnál csupán hűtés által is folyósíthatjuk.

Azon nyomások, melyeknél a gázok folyós állapotba mennek át, egyszersmind legnagyobb feszítő erejük, melyekkel a vett mérsékletnél bírhatnak, vagyis e nyomások a telített gázok feszítő erői. Másrészt pedig azon mérsékletek az illető gázokból származó folyadékok forró-pontjai a megfelelő nyomásoknál. A következő táblázatba összeállított értékek Faraday, e mérsékletek és nyomások meghatározására tett, terjedelmes kisérleteinek eredményei.

Mérséklet	Olajképző gáz	Szénsav	Nitrogen-oxydul	Chlor-hydrogen	Kén-hydrogen	Arsen-hydrogen
	feszítő erői atmosphärákban					
$-87{\cdot}2^0$	—	—	1·0	—	—	—
— 78·9	—	1·2	1·4	—	—	—
— 73·3	9·3	1·8	1·8	1·8	1·0	—
— 40·0	17·0	11·1	8·7	7·7	2·9	2·3
— 23·3	23·9	19·4	16·1	12·8	5·1	4·3
— 12·2	31·7	26·8	22·9	17·7	7·2	6·2
— 1·1	42·5	37·2	31·1	25·3	9·9	8·7
+ 4·4	—	—	—	30·7	11·8	10·0

Ezekből látjuk, hogy a gázok lényegesen nem különböznek a gőzöktől, azok is csak gőzök, melyek a közönséges mérséklet- és nyomásnál igen távol vannak a telített állapottól. Ha nem is sikerült még a fent említett hat gázt folyósítani, úgy még sem vagyunk feljogosítva azt e gázok különös tulajdonságaiul felróni, hanem eszközeink tökéletlenségeiből kell magyaráznunk, csupán abból, hogy elég mély mérsékletet és elég nagy nyomást előállítani eddig még nem voltunk képesek. A gáznemű állapot tehát szintén csak olyan állapota a testeknek, mint a folyós vagy szilárd állapot, mely csak a test mérsékletétől és a rá gyakorolt nyomástól függ.

HARMADIK SZAKASZ.

Magára a melegségre vonatkozó tüneményekről.

Eddig a hőnek csak a testekre gyakorolt hatását tanulmányoztuk; s habár az itt nyert törvények is a hő mivoltára vonatkozó elméletek felállítására indítottak, nem bocsátkozhattunk ezen elméletek taglalásába, mert a kellő alap ilyen elmélet fölállítására még mindig hiányzott.

Ezen alaphoz azon hőtünemények tanulmányozása vezetett, melyek inkább magára a hőre, mint annak hatására vonatkoznak. Ilyen a hő terjedése, közlése és melegítő hatása. Habár e tünemények is csak a hatást mutatják, melyet a melegség előidéz, mégis annyiban különböznek az előbbeniektől, hogy tanulmányozásuk alatt nem a megváltozott testet, hanem magát a hőt tartjuk szüntelen szem előtt. Előbb például a megmelegített szilárd test kiterjedését, megömlését és elpárolgását figyeltük meg, most pedig megvizsgáljuk, hogy hogyan melegedik át és milyen körülmények között melegedik meg a test, és milyen körülmények között adja át saját melegét, azaz mikor melegít meg más testet. A megömlésnél és elpárolgásnál a megömlött testet és a származott gőzöket vizsgáltuk, a következőkben csak azt nézzük, hogy valamely hőforrásból a testbe vezetett meleg, ezen átalakulások alatt, mikép terjed, mikép szaporodik vagy csökken. Szóval magát a meleget tartjuk szem előtt.

ELSŐ FEJEZET.

A hővezetés.

Minden természetes vagy mesterséges hőforrás (a környezetnél melegebb test) a környezetet két módon melegíti meg. Ugyanis a hőforrással nem érintkező testek *sugárzás* által, az érintkezők pedig *vezetés* által melegednek meg.

E helyen csak azon melegséggel fogunk foglalkozni, mely a testben van és marad, tehát, mely vezetés által terjed. A sugárzó hőt már a fénytanban ismertük meg és tanulmányoztuk, a hol láttuk, hogy ez majd a fénynyel azonos rezgés, majd ettől csak annyiban különbözik, hogy rezgése-száma kisebb, mely esetben a sugarakat *sötét hősugaraknak* neveztük.

I. Szilárd testek hővezetőképessége.

1. A hővezetés megfigyelésének első eredménye azon tapasztalat volt, hogy a különböző testek igen különböző sebességgel vezetik tovább a velük közlött meleget. Vagyis hogy némely testek meleg-

ségüket ugyanazon körülmények között sokkal tovább tartják meg, lassabban hűlnek ki, mint más testek. A szilárd testek által történő hővezetést legfeltünőbben tapasztaljuk, ha például valamely fémrúd egyik végét tűzbe tartjuk: a hő lassankint a rúd másik végeig terjed. Ha például valamely 0·3 méter hosszú fémrudat egyik végén az izzásig hevítünk, akkor igen rövid idő mulva a másik végét sem foghatjuk meg kezünkkel; mig ugyan oly hosszú fa- vagy üvegrúd egyik végét bármennyire hevíthetjük, a nélkül, hogy másik vége tetemesen megmelegednék.

Ha ily fémrúd egyik végét állandó mérsékletü hőforrásnak teszszük ki, és másik vége, vagy egész hoszsza alantabb mérsékletü testtel van környezve, akkor a rúd minden pontjának mérséklete egyenlő soha sem lehet, hanem a különböző pontok mérsékletei a hőforrástól való távolsággal fogynak. Az állandó állapot akkor áll be, ha minden részecske a következőnek és a környezetnek annyi meleget ad át, mint a mennyit ugyanazon idő alatt nyer. Hogy ekkor a mérséklet mily módon lesz szétosztva, az azon gyorsaságtól függ, a melylyel az egyes rétegek megmelegednek, és azon melegmennyiségtől, melyet bizonyos idő alatt a környezetnek átadnak; függ tehát különösen a test minőségétől, továbbá ennek méreteitől és a szélső mérsékletek különbségétől.

Hogy ha a test méreteit és a mérséklet-különbséget egységnek veszszük, akkor a rúd valamely keresztmetszetén átható melegség mennyisége csupán a test minőségétől függ. Ha ezt k-val jelöljük, akkor k azon melegséget jelöli, mely az időegységben a rúd felületegységén hatol át, ha a távolságegységben lévő keresztmetszetek mérsékletkülönbsége 1 fok. Ezt a k mennyiséget az anyag *belső vezető-képességének* nevezzük.

Könnyen belátható, hogy ha a keresztmetszet felülete q, akkor azon kq hőmennyiség fog keresztül menni. Ha továbbá a távolságegységben lévő keresztmetszetek mérsékletkülönbsége 2, 3, 4 . . . fok, akkor 2, 3, 4 . . .-szer több meleg fog áthatni, mely fölvételt *Péclet* kisérletileg igazolt. Tehát, ha a rúd két vége közti mérsékletkülönbség $\mathrm{T}t$, és a rúd hoszsza l, akkor minden egyes keresztmetszeten az időegységben átható meleg

$$w = k \,.\, q \,.\, \frac{\mathrm{T}-t}{l}$$

Tegyük fel már most, hogy a T mérsékletü hőforrásnak kitett rúd másik, t mérsékletü vége egy t-nél kisebb, állandó τ mérsékletü viz- vagy levegő-áramlattal érintkezik. Akkor a rúd a vele érintkező kisebb mérsékletü testnek egy, a mérsékletkülönbséggel és a keresztmetszettel arányos hőmennyiséget ad át, tehát $h \,.\, q\,(t-\tau)$ hőmennyiséget.

Ezen h állandó tényező az érintkező testek minőségétől függ, és *külső vezető-képességnek* neveztetik.

Ha az állandó állapot beállott, akkor a rúd által bizonyos idő

alatt átadott melegség épen akkora, mint a mekkora ugyanazon idő alatt a rúd minden keresztmetszetén keresztül megy, tehát

$$h \cdot q\,(t - \tau) = k \cdot q \cdot \frac{T - t}{l}$$

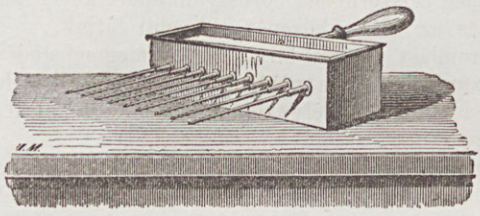
a miből, ha $\frac{k}{h}$ viszony ismeretes, a rúd végének t mérsékletét ki lehet számítani, vagy megfordítva, ha ezt megmérjük, $\frac{k}{h}$ viszonyt számíthatjuk ki.

2. **A vezetőképesség megmérése.** — A felsőbb mennyiségtan segélyével végrehajtott számítás azt mutatja, hogy két különböző anyag belső vezetőképessége k és k', arányos a hőforrástól mért egyenlő mérsékletü keresztmetszetek távolságainak (x és x') négyzetével. Ugyanis

$$\frac{k}{k'} = \frac{x^2}{x'^2}$$

Ezen elméleti eredmény alapján Ingenhouz különböző anyagok belső vezetőképességeit a következő készülék segítségével hasonlította össze. Forró vízzel telt fémszekrény falába (225. ábra) vékony viaszhártyával bevont, egyenlő vastagságú fémrudakat erősített. Az állandó állapot beálltával valamennyi rúd egyik vége 100 fokú, míg másik végei, ha a rudak elég hosszuak, a körlég mérsékletével bírnak. A viasz, melylyel bevonattak, különböző távolságban (x, x', x'' . . .) olvadt meg; e távolságokban valamennyi rúd egyenlő mérséklettel, ugyanis a viasz olvadó mérsékletével bírt. S így a fönnebbi egyenlet szerint

225. ábra.



$$k : k' : k'' : \ldots\ldots = x^2 : x'^2 : x''^2 : \ldots\ldots$$

A belső vezető-képességek csak ujabb időben határoztattak meg a kellő pontossággal. E mérésekből kitünt, hogy az ezüst a legjobb hővezető; ennek hővezetőképességét 100-nak véve, a többi fémeké a következő számok által van adva.

Fémek	*Belső vezetőképesség*	*Fémek*	*Belső vezetőképesség*
Ezüst	100·0	Acél	11·6
Réz	73·6	Ólom	8·5
Arany	53·2	Platina	8·4
Sárgaréz . . .	23·1	Ujezüst	6·3
Horgany . . .	19·0	Rose-féle fém . .	2·8
Ón	14·5	Wismuth . . .	1·8
Vas	11·9		

A testek e különböző hővezető-képessége által több oly tünemény magyarázható meg, melyek ezen adatok ismerete előtt vagy épen nem vagy helytelenül magyaráztattak meg. Igy például, ha egyenlő mérsékletü vas- és fadarabot érintünk, a testünkre gyakorolt hőhatás igen különböző. Ha mindkettő hidegebb testünknél, úgy a vas sokkal hidegebbnek mutatkozik, mint a fa; ha melegebbek, úgy ismét a vas sokkal melegebbnek mutatkozik, habár tényleg egyenlő mérsékletüek. Könnyen belátható, hogy ennek oka abban rejlik, hogy a vas sokkal jobb hővezető, mint a fa; tehát a vas gyorsabban közli testünkkel és gyorsabban el is vezeti testünktől a meleget. — Ruháinkat gyapjas szövetekből készítjük, mivel ezek rosz hővezetők.

II. A folyadékok vezető-képessége.

A higanyt kivéve, mely a többi fémekkel összehasonlítható vezetőképességgel bír, a folyadékok általában igen roszul vezetik a hőt, és leginkább belső áramlatok által melegednek meg. Ha például vízzel telt edényt tűzhelyre teszünk, csak a víz alsó része melegedik meg közvetetlenül, de ez egyidejüleg ritkulván, felemelkedik, mig a hidegebb rétegek leszállnak, és az így keletkezett áramlat által az egész folyadék csak hamar átmelegszik. Ezen áramlást láthatóvá tehetjük, ha vízbe fürészport vagy még célszerűbben borostyánkőport keverünk; ezt a falaknál emelkedni, és az edény közepén süllyedni látjuk.

Valahányszor ezen áramlást megakadályoztuk, a megmelegedést majdnem tökéletesen megszüntetjük. Ha például a vizet fölülről melegítjük, akkor a megmelegedett részek helyükön maradnak, mi által a víz rendkivül lassan melegedik át.

A víz e tulajdonsága a természet háztartásában igen fontos szerepet játszik. Földünk vizei ugyanis a nap heve által melegíttetvén, és a kisugárzás által lehűlvén, mindig fölülről melegíttetnek, és hűttetnek le. E körülmény megakadályozza egyrészt a tulságos elpárologtatást, másrészt a víznek nagyobb mértékben való fogyasztását.

III. A gázok hővezető-képessége.

Ha a víz rendesen áramlások által melegedik meg, az annál inkább történik a gázoknál, minthogy ez utóbbiak kiterjedése sokkal jelentékenyebb és részecseinek mozgékonysága is sokkal nagyobb.

Magnus üvegcsövekbe zárt gázokkal tanulmányozta ezek hővezető-képességét. A függélyesen fölállított cső felső végét forró víz mérsékletének tette ki, mig a többi rész 15 fokú volt. Ily módon, ép úgy mint a víznél, az áramlások be nem következhettek. A cső közepe táján alkalmazott hőmérőn lehetett észlelni a mérséklet növekedését.

Magnus ily módon kimutatta, hogy a gázok hővezető-képessége általában észre sem vehető; kivévén a hydrogent, mely a többi gázhoz képest igen jól vezeti a hőt.

MÁSODIK FEJEZET.

A melegmennyiség fogalma és mérése.

I. A rejtett meleg felfedezése.

Már a thermométer állandó pontjainak meghatározásánál tapasztalták, hogy néha a testtel közlött melegség mérsékletét nem emeli. Igy a forró víz mérséklete állandó marad, bármennyi meleget is vezessünk hozzá. Továbbá 1754-ben de Luc megmutatta, hogy az olvadó jég mérséklete is állandó marad.

Azonban e tapasztalatok több hasonló tüneménynyel együtt csak 20 évvel később lettek kellőleg méltányolva, a mennyiben tüzetesebb tanulmányozásuk által csak ekkor mutatkozott jelentőségük.

1772-ben Wilke az idézett tapasztalatokat nem ismervén, a kertjében meggyült nagy mennyiségü havat akkép akarta eltávolitani, hogy azt forró vízzel leöntötte; ez azonban várakozása ellen olyan lassan folyt, a forró víz oly kevés havat olvasztott meg, hogy a műtétet félbe kelle szakitania. Miután a hó zerus foku volt, a víz pedig majdnem 100 fokú, hideg és meleg víz-keverékre már rég ismert, Richmann által vízkeverékekre felállított törvény szerint, azt várta, hogy egyenlő mennyiségü hó és viz keveréke a kettőnek közép mérsékletével fog bírni. Richmann ugyanis megmutatta, hogy egyenlő súlyú egynemü testek keveréke eredeti mérsékleteik számtani közepével bir. Azért gyanította, hogy a hó megolvadását eddig még nem ismert ok akadályozza, a tényt pedig kisérletek által pontosan megállapította.

Zerus fokú víz és vele egyenlő mennyiségü 68 fokú víz keverés után 34 fokú volt, azonban ha 0 fokú víz helyett 0 fokú havat használt, úgy még olvasztatlan hó is maradt vissza, és az egész viz 0 fokú volt. Minden kisérletnél ily nagy mennyiségü melegség veszett el.

Ezek után Wilke azon szabályt állapitotta meg, mely szerint bizonyos hó- és vízkeverék mérséklete előre meghatározható. E célra havat egyenlő mennyiségü, de különböző mérsékletü vízzel, és egyenlő mérsékletü különböző mennyiségü vízzel kevert össze, és különösen arra ügyelt, hogy minél kevesebb melegség veszszen el a kisérlet folyama alatt. E kisérletek eredménye az, hogy egyenlő mennyiségek mellett a víznek 72 C. fokúnak kell lenni, hogy valamennyi hó megolvadjon; a keverék 0 fokú víz. A hó megolvasztására tehát állandóan mindig annyi melegség szükségeltetik, a mennyivel épen akkora súlyu vizet 72 fokra lehet hevíteni. Ha azonban a víz 72 foknál magasabb mérsékletü volt, például 98 fokú, úgy a 72 fokon fölüli 26 fok 2 részre oszlik, mintha 26 fokú víz 0 fokú vízzel kevertetett volna; a keverék tehát 13 fokú lesz. Ha a hóval egyenlő súlyú víz 72 foknál alacsonyabb mérsékletü, úgy a hónak egy része mindig olvasztatlanul marad vissza, és a keverék 0 foku.

Wilke még meg akart arról győződni, hogy e tünemény nem a meleg víz sajátságos magatartásának tulajdonítandó, hanem hogy csakugyan a hó megolvasztása igényel meleget. E célra két egyenlő edénybe egyenlő súlyú 0 fokú vizet és havat tett, és mindkettőt ugyanazon meleg fürdőbe tette. Az edényekbe süllyesztett hőmérők a mérséklet növekedését mutatták. Addig míg a víz 72 fokra nem melegedett, a hó teljesen megolvasztva nem volt, és mérséklete 0 fokon maradt. Minthogy itt a hóhoz saját vizén kivül más víz nem jutott, csak az edény falán áthatolt melegség működött, világos, hogy a hó megolvasztására akkora melegség szükségeltetik, mely vele egyenlő súlyú vizet 0 fokról 72 fokra képes hevíteni.

Black, a ki e felfedezést már Wilke előtt tette, megmutatja azt is, hogy azon melegség, melyet a jég elnyel, midőn folyosittatik, a vízben mindenkor fellelhető. A víz ugyanis megmelegszik, ha szilárd állapotba megy át. Ezt akkor tapasztalhatjuk, ha a vizet csendes helyen 0 fok alá hűtjük, anélkül, hogy megfagyjon; kis megrázkódás által a víz fagyni kezd, miközben a vízbe merülő hőmérő 0 fokra emelkedik. Ennek következtében a vizet környező testek is néhány fokkal megmelegednek.

Továbbá nem csak víz mutatja e tüneményt, hanem mutatják ezt a sók is, melyek vízben feloldatnak, vagyis szilárd állapotból folyósba mennek át. Igy például ha glaubersó vízben felolvad, ezt lehűti; de ha ezen oldatot jól megrázzuk, akkor megzavarosodik, a só ismét szilárd alakban kiválik, mialatt az előbb felhasznált, elnyelt meleg szabaddá lesz, és a folyadék megmelegszik.

Black azért általában kimondja, hogy minden folyadék kétféle meleget tartalmaz. Az elsőt érzékünk és a hőmérő által észrevehetjük, a másik csak arra szolgál, hogy folyós állapotban megtartsa; ez is érezhető meleggé változik át, ha a folyadék megszilárdul. Az elsőt szabad melegnek, az utóbbit rejtett melegnek nevezték el.

Igen természetes, hogy az állandó forró pont ismeretét ezen tapasztalatokhoz csatolták. Ugyanis a forró vízhez vezetett meleg sem érezhető, mert a gőz, mely a vízből származik, szintén csak 100 fokú. Tehát a gőz nagy mennyiségü rejtett meleget tartalmaz, mely csak akkor válik érezhető meleggé, ha ismét folyadékká sűrül.

II. A fajmeleg.

E tapasztalatok mindenek előtt azon fontos elv megállapítására vezettek, hogy valamely testben foglalt melegség mennyisége nincsen megadva mérséklete által; hanem az még lényegesen függ attól, hogy a részecsek összetartása mily mértékben van lazítva. S minthogy ugyanazon körülmények között a különböző testek összetartása különböző, különbözőnek kell lenni a bennök foglalt rejtett melegnek is.

E felfogáshoz járultak még a Wolf által már 1710-ben közzé tett tapasztalatok, hogy különböző testek, egyenlő módon történő melegítés által, különböző mértékben hevűlnek fel. Wolf ezt csak a

testek különböző sűrűségeinek tulajdonította. Azonban az utóbbi tapasztalatok mutatták, hogy a megmelegedés nem függhet csupán a test sűrűségétől, hanem függnie kell molekularis szerkezetétől is.

Wilke fölfedezésében módot talált ennek megvizsgálására. Ugyanis kisérletileg meg kell állapitani — mondja Wilke — hogy mennyi havat olvaszt meg bizonyos test, míg adott mérsékletből 0 fokra hűttetik le. Ez által megtudjuk, hogy a testből elvezetett melegséggel a megolvasztott hóval egyenlő súlyú vizet 0 fokról 72 fokra lehetett volna heviteni. Igy az egyenlő mérsékletü különböző testekben foglalt meleget össze lehet hasonlítani.

Ily módon győződött meg Wilke arról, hogy a különböző testekben foglalt melegség sem térfogatukkal, sem sűrűségükkel és fájsúlyaikkal nem arányos, hanem hogy azon melegmennyiség, melyet bizonyos anyag magába felvesz, és ismét tovább ad, sajátos tulajdonságától függ (ép úgy mint a szilárdság, hajlékonyság s í. t.). Azért Wilke e melegmennyiséget, más testhez, például vízhez hasonlítva, a test fajlagos melegének, fajmelegnek, nevezi; ép azon joggal, a melylyel súlyát, más test egyenlő térfogatú súlyához viszonyítva, fajsúlynak nevezik.

III. A melegmennyiség mérése.

Csak ezen tapasztalatok által vált világossá azon különbség, mely a melegség (a melegmennyiség) és a mérséklet között létezik.

Miután a jég megolvasztására szükséges melegmennyiség alkalmat nyujtott melegmennyiségek összehasonlítására vagy mérésére, egységről is kelle gondoskodni, hogy a nyert eredmények összehasonlíthatók legyenek. Egységül vagy bizonyos jégmennyiség megolvasztására szükséges melegmennyiséget, vagy valamely test fajmelegét lehet választani. Ilyen választásoknál mindig a vízre esik a legtöbb szavazat; mivel ezt igen könnyen lehet tiszta állapotban nyerni, és könnyen kezelhető.

A melegmennyiség egysége tehát azon melegmennyiség, mely egy kilogramm vizet 0 fokról 1 fokra hevít. Ezen melegmennyiséget Calorianak nevezik.

Ehez viszonyítva a többi test fajmelege következőkép határoztatott meg.

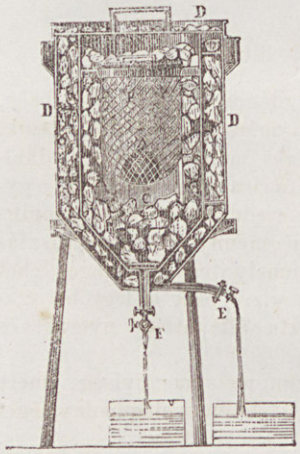
Mint emlitve volt, Wilke a megömlesztett hőmennyiségből akarta meghatározni a testek fajmelegét. A kivitelnél azonban nagy nehézségekre akadt, különösen azért, mert a megolvadt hóból származott víz a többi hóba szivárgott, úgy hogy nem lehetett meghatározni a megolvasztott hó mennyiségét. Azért ezt indirekt módon igyekezett megmérni. Ugyanis a megvizsgálandó testtel egyenlő súlyú 0 fokú vizet öntött egy edénybe, ebbe a határozott mérsékletig hevített testet sülyesztette, és megmérte az eredő mérsékletet. Miután egynemű testek keverékére álló Richmann-féle törvény szerint kiszámította, hogy mennyi 72 fokú vizet kellett volna azon 0 fokú

vízhez keverni, hogy a nyert középmérsékletet nyerje : tudta azt is, hogy e melegséggel mennyi havat lehetett volna megolvasztani.

Black e nehézséget sokkal egyszerűbb módon kerülte ki, azáltal, hogy nem havat, hanem szilárd jeget használt. Egy darab jégbe ugyanis mélyedést vájt, ezt gondosan kiszárította, azután száraz jégfödővel betakarta. A készüléket meleg levegőnek lehetett kitenni anélkül, hogy az üregben az olvadásnak nyoma is mutatkozott volna; mivel a külső jég 0 foknál magasabbra hevűlése előtt megolvad. Ha már most egy t fokra hevített testet az üregbe teszünk, az a jégnek egy részét megolvasztja, mialatt maga 0 fokra hűl; erre a födőt levesszük, a vizet gondosan összegyüjtjük és lemérjük.

Laplace és Lavoisier a jégdarabot több egymást burkoló pléhedénynyel helyettesítették. E készüléket Calorimèter-nek nevezték el. Ennek közepét egy drótháló B (226. ábra) képezi, mely födéllel van elzárva. E hálóba, mely jégdarabokkal teljesen körül van véve, tétetik a megvizsgálandó test (A). A test melege a jég egy részét megolvasztja, és az így származott víz az F csapon kifolyik, mely egy edénybe gyüjtetvén, pontosan megméretik. Az első jégburkolat egy másodikkal van körülvéve, mely a környezet melegét amattól visszatartja. Az utóbbiban származó víz az E csapon folyik ki.

226. ábra.



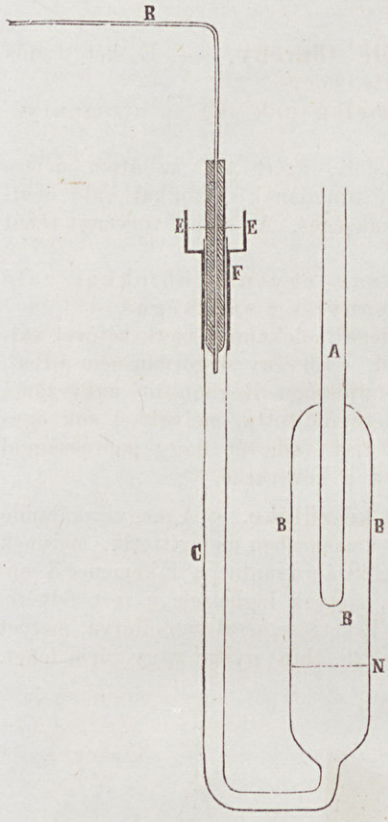
Ujabb időben Bunsen sokkal tökéletesebb jégcalorimétert szerkesztett, mely azon tényen alapszik, hogy a víz nagyobb térfogatot foglal el szilárd, — mint folyós állapotában; a megolvasztott jégmennyiség az olvadás által bekövetkezett térfogatváltozásból itéltetik meg. E készülékkel, melynek berendezését a 227. ábra mutatja, rendkivüli pontosságot lehet elérni.

A fönt nyitott üvegcső A, melybe a megvizsgálandó test tétetik, az alsó tágasabb B csőbe van forrasztva, mely N-től fölfelé többször felforralt vízzel van megtöltve, míg N-től lefelé az egész C cső E-ig higanyt tartalmaz. Az által, hogy az osztályzott, keskeny R csövet parafadugasz segítségével az F vasburkolatba szorítjuk, a higany ebben is egy tetszőleges osztályrészig száll fel.

Mielőtt az R csövet beillesztjük, az A cső lehűtése által B-ben a vizet megfagyasztjuk; a mit Bunsen az által eszközölt, hogy jég és konyhasókeverékben -20^0-ra lehűtött borszeszt öntött ismételten az A csőbe.

Erre a készüléket nagy edényben hóval veszszük körül s bevárjuk, míg a higany az R csőben állandó helyzetet foglal el, a mi csak hosszabb idő után történik, mivel a B-ben keletkezett jégréteg

227. ábra.



zérus foknál alantabb mérsékletű, és a jégképzés tovább folytatódik.

Ha a B-ben foglalt víz teljesen zérus fokú jégre változott át, akkor a készülék hőmennyiségek mérésére alkalmas. A megvizsgálandó test bizonyos mérsékletre hevíttetvén, az A csőbe tétetik. A mint a test melege a jégnek egy részét megolvasztja, a jégnek térfogata kisebbedik, és a külső légnyomás a higanyt az R csőben bellebb szorítja. Ezen süllyesztésből a megolvasztott jég mennyiségét nagy pontossággal lehet meghatározni.

A következő táblázat néhány test ily módon talált fajmelegét tartalmazza :

Víz	1
Alkohol	0·6
Aether	0·5
Higany	0·33
Cukor	0·3
Kén, üveg és a közönséges kövek .	0·2
Vas	0·11
Réz, horgany . .	0·09
Ón és ezüst . .	0·06
Arany és platina .	0·03

Ebből látjuk, hogy a víz fajmelege legnagyobb; ennél csak a hydrogen fajmelege nagyobb, mely 3·4. Általában a folyadékok fajmelege nagyobb, mint a szilárd testek-é. Ez különösen kitünik ugyanazon test két halmazállapotánál talált értékekből, ugyanis :

a víz fajm. . . .	1,	a jégé . .	0·5
folyós salétrom . .	0·33,	„ szilárdé .	0·23
„ kén . . .	0·23,	„ „ .	0·18 s. i. t.

IV. A szilárd és folyós testek fajmelegeire vonatkozó törvények.

1. Pontos mérések által kitünt, hogy ugyanazon test fajmelege a mérséklettel változik és pedig azon értelemben, hogy a fajmeleg annál kisebb, minél sűrűbb a test, tehát minél alacsonyabb mérséklete. Igy például Dulong és Petit a vas középfajmelegét 0 és

100 fok között 0·1098-nak találták, 0 és 200 fok között pedig 0·1218-nak. Csak a víz fajmelege marad ilyen határok között majdnem tökéletesen állandó.

2. **A Dulong és Petit-féle törvény.** — E két tudós 1818-ban azon fontos fölfedezést tette, hogy

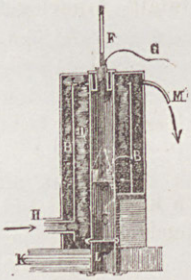
minden egyszerű test fajmelegének (C) és atomsulyának (A) szorzata állandó szám.

Miután A egy atom súlyát jelöli, azért A C az atom melegmennyisége; tehát bármily test egy atomjának 1 fokkal való hevitésére ugyanazon melegmennyiség szükséges. Az előbbi törvényt tehát úgy is lehet kifejezni:

minden test egy atomjának egyenlő hőfokkal való hevítésére ugyanazon melegmennyiség szükséges.

Minthogy ugyanazon test fajmelege molekularis szerkezetével változik, atomsúlya pedig állandó marad, e törvény szigorúan nem állhat.

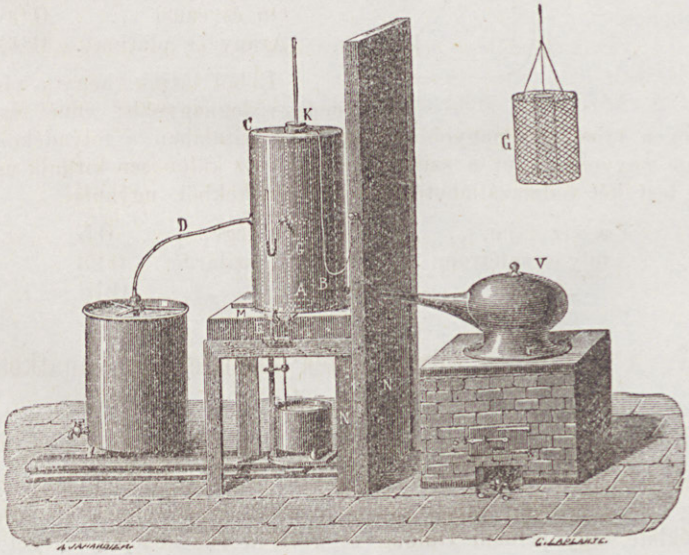
228. ábra.



E törvény fontossága Regnaultot nagyszámú kisérletek megtételére indította, melyekkel sok egyszerű és összetett test fajhevét nagy pontossággal megmérte. Eljárása a következő.

3. **Regnault készüléke.** — A megvizsgálandó test e célra készült kemencében melegíttetik, melynek keresztmetszetét a 228. ábra mutatja. E kemence 3 concentricus térből áll, melyek legbelseje a test felvételére szolgál, ez alul L kettős zárral van ellátva, melyet az E fogantyúval (229. ábra) nyitni vagy zárni lehet.

229. ábra.



A henger fönt be van dugaszolva, a dugaszba az F hőmérőbe merül, mely a G kosárka közepéig ér; e kosárka 2 centricus finom rézdrótból font henger, melyek belsejében van a test. A kosárka selyemszálon függ, mely a dugaszon áthuzódik s kivül meg van erősítve.

E belső henger a D köpenynyel van körülvéve, melybe V-ből a H csatornán vízgőz áramlik. Az innen kiszabaduló gőz egy második BB köpenybe kerül, mely amazt a meghülléstől megóvja; a gőz az O tekercscsőben megsűrűl. A melegitő készülék parafa és vízrétegek által az alsó tértől lehetőleg el van szigetelve.

A mint az F hőmérő állandóan egy mérsékletet mutat, a mi körülbelül két órai gőzfűtés után beáll, a calorimeter síneken az E zár alá tolatik; e zárt megnyitván, a selyemfonalon függő kosárkát lehetőleg gyorsan a calorimeterbe merítjük, azután ismét előbbi helyére emeljük, s mialatt ezt igy folytatjuk, azalatt a calorimeternek az idővel járó mérsékletnövekedését megfigyeljük. A legnagyobb mérséklet elérése után folytatólag észleljük a lehülést, a mi a kiszámításnál szükséges correcturát szolgáltatja.

Ha folyadékok fajheveit akarjuk meghatározni, akkor azt fém- vagy üvegcsövekbe zárjuk, melyeknek melegveszteségét a számításnál tekintetbe veszszük, vagy a hevitő készülékből egy, a calorimeterben elhelyezett edénybe öntjük. Végre a calorimétert, a helyett, hogy vízzel, a megvizsgálandó folyadékkal tölthetjük meg, és ismert fajhővel biró szilárd testtel megmelegítjük.

A szilárd testek fajmelegei olvadó-pontjuktól távol csak kevéssé, de az olvadó-pont közelében gyorsan változnak. A folyadékoknál a változás mindig tetemes. Igy például az alkohol középfajmelege 5 és 10 fok közt 0·596; és 15—20 közt 0·615. Épen a víz az, melynek fajmelege majdnem állandó és 0-tól 200 fokig közel egyenlő az egységhez.

A gázok fajmelege majdnem tökéletesen állandó, bármily nyomás és mérsékletnél.

A következő táblázat mutatja, hogy mennyire változik a fajmeleg a testek molekuláris szerkezetével.

	szilárd	folyós	gáznemű
Brom	0·08432	0·11094	0·05518
Víz	0·474 0·504	1·000	0·475
Higany	0·0313	0·0333	„
Phosphor	0·1740 0·1887	0·2006 0·2045	„ „
Ón	0·05623	0·0637	„
Wismuth	0·0324	0·0402	„
Ólom	0·0314	0·0402	„

E számokból és hasonló kisérleti eredményekből következtetjük, hogy a fajmeleg tetemesen változik a testek molekuláris szerkezetével. Ép úgy változik a fajmeleg a testek különböző allotrop állapotaival. Igy például Regnault kisérletei szerint

a gyémant	fajmelege	0·1469
graphit	„	0·2019
faszén	„	0·2415
állatszén	„	0·2608

Ezek után nem várhatjuk a Dulong-féle törvény absolut helyességének bizonyítékát; minthogy az atomsúly a test állapotától tökéletesen független, minden test fajheve pedig saját módja szerint változik : e kettőnek szorzata állandó nem lehet. Azonban a szilárd testek atommelege, a mint a következő táblázatból kitünik, oly állandóságot mutat, hogy e törvény jelentőségét kétségbe vonni nem lehet.

Elemek.	Fajmeleg.	Atomsúly.	Atommeleg.
Aluminium	0·2143	27·4	5·87
Antimon	0·0513	122	6·26
Arsen	0·0822	75	6·17
Arany	0·0324	197	6·38
Brom, szilárd	0·0843	80	6·74
Cadmium	0·0567	112	6·35
Ezüst	0·0570	108	6·16
Higany, szilárd	0·0319	200	6·38
„ folyós	0 0332	200	6·64
Horgany	0·0555	118	6·53
Jod	0·0541	127	6·87
Iridium	0·0326	198	6·45
Kalium	0·1655	39·1	6·47
Kobalt	0·1067	58·8	6·27
Lithium	0·9408	7	6·59
Magnesium	0·2475	24	5·94
Mangan	0·1217	55	6 69
Molybdän	0·0722	96	6·93
Natrium	0·2934	23	6·75
Nickel	0·1092	58·8	6·42
Ón	0·0956	65·2	6·23
Ólom	0·0314	207	6·50
Osmium	0·0311	199·2	6·20
Palladium	0·0593	106·6	6·32
Platina	0·0324	197·4	6·40
Réz	0·0939	63·4	5·99
Rhodium	0·0580	104·4	6·06
Selen (jegecedve)	0·0801	79·4	6·36
Tellur	0·0474	128	6·07
Thallium	0·0336	204	6·85
Uran	0·0619	120	7·43
Vas	0·1138	56	6·37
Wismuth	0·0308	210	6·47
Wolfram	0 0334	184	6·15

Feltünő kivételt képeznek e törvény alól a bor, szén és silicium.

Ezen elemekre ugyanis a következő adatok állanak:

		Fajmeleg.	Atomsúly.	Atommeleg.
Bór		0·239	10·9	2·60
Szén	Gyémánt	0·1469	12	1·76
	Graphit	0·2019	„	2·42
	Faszén	0·2415	„	2·90
	Állatszén	0·2608	„	3·13
Silicium . . .		0·159	28	4·45

5. **Neumann törvénye.** — Neumann a Dulong-féle törvényt összetett testekre terjesztette ki, azon tételben, hogy minden hasonló vegyalkattal biró test fajmelege szintén visszás arányban van chemiai egyenértékével, vagy, hogy hasonló vegyalkattal biró testek tömecsei ugyanazon melegmennyiséget igénylik mérsékletök egyenlő fokokkal való emelésére. E törvényt a következő kisérleti adatok indokolják.

Oxydok RO.

Vegyületek.	Fajmeleg. C	Molekulársúly. A	Szorzat. AC
Higanyoxyd	0·0518	216	11·2
Horganyoxyd	0·1248	81·2	10·1
Magnesia	0·2439	40	9·8
Manganoxydul	0·1570	71	11·1
Nickeloxydul	0·1588	74·8	11·9
Ólomoxyd	0·0512	223	11·4
Rézoxyd	0·1420	79·4	11·3
		Középszám	11·0

Fémkénegek RS.

Higanykéneg	0·0512	232	11·9
Horganykéneg	0·1230	97·2	12·0
Kobaltkéneg	0·1251	90·8	11·4
Nickelkéneg	0·1281	90·8	11·6
Ólomkéneg	0.0509	239	12·2
Ónkénecs	0·0836	150	12·6
Vaskénecs	0·1357	88	11·9
		Középszám	11·9

Chlorfémek RCl.

Chlorezüst	0·1911	143·5	13·1
Chlorkalium	0·1729	74·6	12·9
Chlornatrium	0·2833	42·5	12·0
Higanychlorür	0·0520	235·5	12·3
Rézchlorür	0·1383	98·9	13·7
		Középszám	12·8

Vegyületek.	Fajmeleg.	Molekulársúly.	Szorzat.
		Jodfémek RJ.	
	C	*A*	*AC*
Higanyjodür	0·0395	327	12·9
Jodezüst	0·0616	235	14·5
Jodnatrium	0·0868	150	13·7
Jodkalium	0·0819	166	13·0
Rézjodür	0·0687	190	13·1
		Középszám	13·4
		Bromfémek RBr.	
Bromezüst	0·0739	188	13·0
Bromkalium	0·1132	191·1	13·5
Bromnatrium	0·1384	103	14·2
		Középszám	13·9
		Oxydok RO_2.	
Ónsav	0·0933	150	14·0
Titansav	0·1703	82	14·0
		Középszám	14·0
		Fémkénegek RS_2.	
Molibdänkéneg	0·1067	160	17·1
Ónkéneg	0·1193	182	21·7
Vaskéneg	0·1301	120	15·6
		Középszám	18·1
		Chlorfémek RCl_2.	
Chlorcalcium	0·1642	111	18·2
Chlormagnesium	0·1946	95	18·5
Chlorstroncium	0·1199	158·6	19·0
Chlorbarium	0·0896	208	18·6
Chlorhorgany	0·1362	136·2	18·6
Chlorólom	0·0664	278	18·5
Chlormangan	0·1425	126	18·0
Ónchlorür	0·1016	189	19·2
Higanychlorid	0·0689	271	18·7
		Középszám	18·6
		Kénsavas sók RSO_4.	
Kénsavas barium	0·1128	233	26·3
„ calcium	0·1966	136	26·7
„ magnesium	0·2216	120	26·6
„ ólom	0·0872	303	26·4
„ strontium	0·1428	183·6	26·2
		Középszám	26.4

6. **Regnault törvénye.** — Regnault a fémötvényeket is megvizsgálta, és fajmelegeikre vonatkozólag a következő egyszerű törvényt találta: az ötvények, kellő távolságban olvadó-pontjuktól, oly fajmeleggel bírnak, mely épen egyenlő az alkatrészek fajmelegeinek középszámával. Ha e szerint valamely ötvény c_1 fajmeleggel biró K_1 súlyú fémből, és egy c_2 fajmeleggel biró K_2 súlyú fémből áll, akkor az ötvény fajmelege

$$c = \frac{K_1 c_1 + K_2 c_2}{K_1 + K_2}$$

Ha a K_1 és K_2 súlyok az illető fémek atomsúlyaival vagy ezek sokszorosaival arányosak, és ha, ép úgy mint a chemiai vegyületeknél, az alkatrészek atomsúlyainak összegét az ötvény molekularsúlyának nevezzük, akkor a fönnebbi egyenletet így irván:

$$(K_1 + K_2)\, c = K_1 c_1 + K_2 c_2$$

e törvényt így is fejezhetjük ki: valamely ötvény molekularmelege egyenlő az alkatrészek atommelegeinek összegével. Vagy röviden, a fémek atommelegei az ötvényezés által nem változnak.

7. **Kopp törvénye.** — Koppnak sikerült kimutatnia, hogy azon törvény, melyet Regnault az ötvényekre felállított, chemiai vegyületekre is áll, hogy ugyanis a vegyület molekularmelege, az azt alkotó elemek atommelegeinek összegével egyenlő.

A fémkénegekre nézve közvetetlenül győződhetünk meg e törvény helyességéről. Az RS alak szerint összetett fémkénegek tömecsmelegeire középértékben 11·9-et találtunk; a fémek atommelegeire középértékben pedig 6·4-et; ha ezt a fémkénegek tömecsmelegeiből levonjuk, akkor 5·5-et nyerünk, mely a kénnek közvetetlenül meghatározott atommelegétől, 5·7-től, csak igen kevéssé tér el. Az RS_2 alak szerint összetett fémkénegekre 18·1-et találtunk; ha ebből 6·4-et levonunk, kapunk 11·7-et, a mi $= 2 . 5{\cdot}8$, tehát ismét a kén atommelegét nyerjük. Igy kiszámíthatnók a többi test atommelegét is.

Folyadékokra és oldatokra a felállított törvények egyike sem érvényes. Folyadékok fajmelegeire nem lehet az alkatrészek fajmelegeiből következtetni.

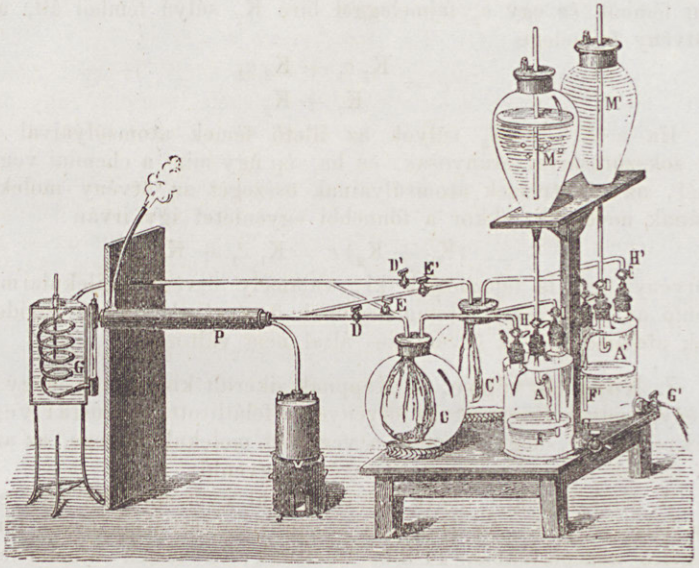
V. A gázok fajmelegei.

1. Azon melegmennyiség, mely valamely gáznak 1 fokkal való hevítésére igényeltetik, különbözik a szerint, a mint a gázt állandó feszítő erő mellett (miközben térfogata változik), vagy állandó térfogat mellett (a midőn természetesen feszítő ereje változik) hevítjük. Azért a gázoknál kétféle fajmeleget kell megkülönböztetnünk: állandó feszítő erőnél, melyet c_p-vel, és állandó térfogatnál, melyet c_v-vel fogunk jelölni.

A gázok fajmelege, ha a hevítés közben feszítő erejük állandó marad, a következő módon határozható meg.

Egy Mariotte-féle edényből (M) ömlik víz az A palaczkba (230. ábra), ez kiszorítja a benfoglalt levegőt, mely a H csövön át a C gömbbe kerül. E gömb egy, a megvizsgálandó gázzal telt hólya-

230. ábra.



got tartalmaz. A C-ben összesűrített levegő nyomása által a gáz a hólyagból kiszoríttatik, és a D csövön át a P melegitő készülékbe ömlik, a hol forró vízgőzzel körülvett csöveken áthaladva a G calorimeterbe jut, melyben, a körülbelül 1·5 méter hosszú tekercscsövön áthaladván, ismét előbbi mérsékletére hűl le. Innen a D' csövön az üres C' hólyagba tér vissza, mely ezáltal kitágulván, a C' gömbben foglalt levegőt az F' csövön át az A' edénybe szorítja; ezalatt a G' nyiláson, mely az F' cső végével egy vízszinben van, a víz kifolyik. A gáznak ezen áramlása azon állandó vizoszlop nyomása által idéztetik elő, mely az M cső alsó végétől A-ig ér.

Ha így a gáz C-ből C'-be ment át, akkor a mozgás irányát megváltoztatjuk, azáltal, hogy M-met elzárván, M'-et működtetjük. G', D', D csapokat elzárjuk és helyettük megnyitjuk a G, E, E' csapokat. Ekkor a gáz C'-ből E'-en át P-be ömlik, és E-n át C-be tér vissza; mig a levegő C-ből F-en át A-ba megy, a honnan a víz G-nél kifolyik.

E berendezés által elérjük azt, hogy ugyanazon gázmennyiséget bármily hosszú ideig használhatjuk. Bizonyos adott idő alatt a calorimeteren átfolyt gáz térfogatát a G és G'-nél kifolyt vízmennyiségből itéljük meg, és annak ismeretes fajsúlyából meghatározzuk Q

súlyát. Hogy ha továbbá a calorimeterbe ömlő gáz mérsékletét T-t megmérjük, nemkülönben a calorimeter kezdetleges és végleges mérsékletét t és t'-et, akkor a fajhő C kiszámítására valamennyi adat ismeretes. A kiszámításra szolgáló egyenletet pedig megkapjuk, ha felírjuk, hogy a gáz épen annyi melegmennyiséget veszitett, mint a mennyit a calorimeter nyert; vagyis

$$Q \cdot C \cdot [T - (t' - t)] = q (t' - t)$$

mely egyenletben q a calorimeter vízértékét jelöli, vagyis azon víz súlyát, mely az egész calorimeter helyett melegíttetvén, ugyanazon t' mérsékletre emeltetett volna. Ezen értéket előleges kisérlettel kell meghatározni.

A környezetnek a calorimeterre gyakorolt befolyását elháritandók, Delaroche és Bérard a calorimétert minden kisérlet előtt, a környezet mérsékleténél 2 fokkal alább szállitották, és a kisérletet addig folytatták, mig annak mérséklete a környezet mérsékleténél 2 fokkal magasabb nem volt. Ez által $t' - t$ értéke mindig 4 volt.

Regnault e kisérleteket lényegesen javított módszer szerint ismételte. E következő táblázat Regnault értékeit tartalmazzák:

Egyszerű gázok.

Levegő	— 30 + 10	fok közt	...	0·2374
„	0 + 100	„ „		„
„	0 + 200	„ „		„
Nitrogen	+ 10 + 200	„ „	...	0·2438
Oxygen	„ „	„ „		0·2175
Hydrogen	„ „	„ „		3·4090
„	— 30 + 10	„ „		3·3996
Chlor	+ 10 + 200	„ „		0·1210
Brom	+ 83 + 228	„ „		0·0555

Összetett gázok.

Nitrogenoxyd . . .	+ 10 + 170	„ „	0·2317
Szénoxyd	+ 10 + 200	„ „	0·2450
Mocsárlég ($C_2 H_4$) .	„ „	„ „	0·5929
Olajképző lég ($C_4 H_4$)	„ „	„ „	0·4040
Nitrogenoxydul . .	„ „	„ „	0·2262
Szénsav	— 30 + 10	„ „	0·1843
„	+ 10 + 100	„ „	0·2025
„	+ 10 + 210	„ „	0·2169
Ammoniak	+ 20 + 200	„ „	0·5084
Kénhydrogen . . .	„ „	„ „	0·2432
Chlorhydrogen . .	„ „	„ „	0·1852
Chloräthyl	„ „	„ „	0·2738
Kénessav	+ 10 + 200	„ „	0·1544

A mint látjuk, Regnault több gázt különböző mérsékletnél vizsgált meg, és azt találta, hogy mig a levegő és hydrogen fajhevei

állandók maradtak, a szénsav fajhevének növekedése emelkedő mérséklettel határozottan észrevehető.

Regnault továbbá a levegőt, hydrogent és szénsavat 1 és 12 atmosphära közt változó nyomásnál vizsgálta meg, és azt találta, hogy e gázok fajhevei sűrűségüktől függetlenek.

3. **A gázok fajhevei állandó térfogatnál.** — Ennek direct úton való meghatározása lehetetlen, minthogy bizonyos térfogatba zárt gáz súlya oly csekély az edény súlyához képest, hogy a gáz mérsékletének emelésére felhasznált hő, az edény mérsékletének emelésére szükséges hőhöz képest majdnem elenyésző; úgy, hogy megmérhetetlen a hőmennyiség azon különbsége, mely szükséges, hogy az edény bizonyos mérsékletre emeltessék, ha üres, vagy ha léggel telt.

E fajhő indirect úton való meghatározása igen érdekes és tanulságos módszerekkel gazdagitá a tudományt.

a) A két fajmeleg viszonyának meghatározása, állandó térfogatnál (c_v) és állandó nyomásnál (c_p). E viszonyt azon mérsékletből határozhatjuk meg, melyre a gáz az által hevíttetik, ha azt — hő hozzávetés és elvezetés nélkül — hirtelen összenyomjuk. Vegyünk egy q súlyú gázmennyiséget, melynek térfogata 0 foknál v_0; azon melegmennyiség, mely szükséges, hogy ezt állandó nyomásnál t fokra hevítsük

$$p c_p t$$

és ekkor a gáz térfogata v_t.

Ha e v_t térfogatú gázt hirtelen összenyomjuk v_0 térfogatra, akkor mérséklete például τ-val emelkedik. A gáz mostani mérséklete $t + \tau$ ugyanaz, mint a melyet felvett volna, ha az előbb bevezetett melegmennyiséget állandó térfogat mellett közöltük volna vele; úgy, hogy

$$q c_p t = q c_v (t + \tau) \qquad \text{és ebből}$$

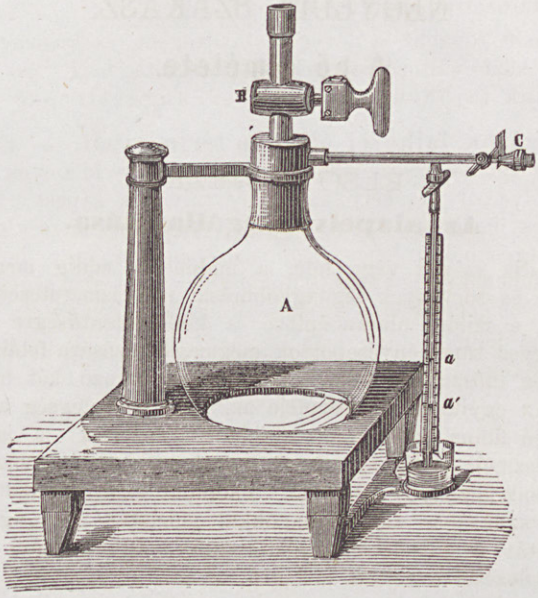
$$1) \quad \ldots \ldots \quad \frac{c_p}{c_v} = 1 + \frac{\tau}{t}.$$

Hogy ha tehát e τ mérsékletnövekedést elég pontossággal határozzuk meg, a két fajmeleg viszonya ismeretes leend.

Ezt a Clément és Desormes által berendezett kisérlettel érhetjük el. Egy nagy üveggömb A (231. ábra), B széles csap által közlekedik a külső levegővel; a csap alatt egy cső az igen érzékeny vízmanométer-, $a\,a'$-hez vezet. A kisérletet azon kezdjük, hogy a levegőt a gömbben megritkítjuk. Ekkor a folyadék a-ig emelkedik, és a levegő nyomása $P - h'$.

Erre a csapot igen rövid időre megnyitjuk, míg a belső nyomás ismét egyenlő lesz a külső lég nyomásával. Ez által a belső levegő összenyomatván, térfogata kisebbedik és mérséklete emelkedik. Ha az eredeti térfogatot 1-nek veszszük, jelenlegi térfogata lesz például $1 - \delta$, és így nyomása, ha a mérséklet állandó maradt volna:

231. ábra.



$\frac{P-h'}{1-\delta}$; minthogy azonban mérséklete τ-val emelkedett, nyomása lesz: $\frac{P-h'}{1-\delta}\,\frac{1+\alpha(t+\tau)}{1+\alpha t}$, és mivel a küllégnyomással egyenlő, azért

$$2) \quad \ldots \quad P = \frac{P-h'}{1-\delta}\,\frac{1+\alpha(t+\tau)}{1+\alpha t}$$

A gömb lassanként kihűl és a környezet t mérsékletét veszi fel, mialatt a manométer folyadéka bizonyos h magasságra (a'-ig) emelkedik; s minthogy ekkor $\tau = 0$, és a belső lég összes nyomása $P-h$, a 2) alatti egyenlet a következőbe megy át:

$$\frac{P-h'}{1-\delta} = P-h$$

E két egyenletből már most δ és τ-t ki lehet számítani, és azt találjuk, hogy

$$\delta = \frac{h'-h}{P-h} \quad \text{és} \quad \tau = \frac{1+\alpha t}{\alpha}\,\frac{h}{P-h}$$

E módszer szerint Clément és Desormes $\frac{\tau}{t}$-t 0·38-nak találták. De ujabb, megbízhatóbb kisérletek 0·41-et adtak. Tehát

$$\frac{c_p}{c_v} = k = 1{\cdot}41$$

NEGYEDIK SZAKASZ.

A hő elmélete.

ELSŐ FEJEZET.

Az alapelv megállapítása.

A 18-dik század vége felé, a midőn az eddig megismertetett tünemények és törvények legnagyobbrészt már ismeretesek voltak, a hő elmélete, e szilárd alapra épitve, a kellő jelentőségre emelkedett.

Az egyes tüneménycsoportok megmagyarázására felállított hypothesisek ezen időszakban a hő mivoltára vonatkozó két hypothesisbe olvadtak. Az egyiknek alapeszméje az, hogy a melegség anyag, mely anyagot igen finom gáznemnek (fluidum) képzeltek; a másik hypothesis alapeszméje pedig az, hogy a melegség nem anyag, hanem a testeknek csak bizonyos állapota. Valamint azon anyagot a magyarázatokhoz szükséges tulajdonságokkal ruházták fel, úgy a testek ezen állapotát is közelebb meghatározták. Igy például Wilke és Black felfedezései a rejtett melegről az első hypothesis követőit arra birták, hogy a hőanyagot minden testtel vegyülhető anyagnak tekintsék. A chemiailag vegyült hőanyag képezte a rejtett meleget és a testben lévő szabad hőanyag az érezhető meleget.

A testek különböző fajmelegei, és különösen az, hogy a testek fajmelegei a molekuláris szerkezettel is változnak, módot nyujtott azon megfoghatatlan tünemények magyarázására, hogy dörzsölés, ütés, a levegő összeszorítása sat. által melegség fejlődik. Ugyanis ezen hatások által a test fajmelege kisebbedvén, az illető testben foglalt melegség azt nagyobb mérsékletre hevíti. Hogy a fajmeleg csakugyan oly értelemben és oly mértékben változik, mint a melyekben azt e magyarázat igényli, az megvizsgálva nem volt, mert e mérések még nem voltak eléggé pontosak.

Ezen elmélet úgyszólván általánosan el volt fogadva, midőn Rumford és Davy két kisérletet mutattak, melyek ezen elmélettel ellenkeztek.

I. Rumford kisérlete.

Rumford gróf 1798-ban vízzel telt kádba fémhengert helyezett, melyben szorosan járó tompa fúrót, lovak alkalmazása által, gyors forgásba hozott. A fúrás által a hengerről fémrészek leváltak, de e közben a henger és általa a víz annyira megmelegedett, hogy az utóbbi forrásnak eredt. E kisérlet alatt a környezet mérséklete 15·5° Cels. volt.

A rejtett meleg új elmélete szerint — mondja Rumford — e melegségnek onnan kell származnia, hogy a fúrás által elvált fémrészek

fajmelege kisebbedett. De lehetséges-e az, hogy e parányi fém (837 gran), mely a henger tömegének (113 font) 948-ad részét tette, annyi meleget adjon, melylyel $6^1/_2$ font jeget megolvasztani vagy 5 font 0 fokú vizet forrásig hevíteni lehetett volna.

Habár teljes lehetetlenség, hogy az elvált fémrészek fajmelegének változása által e melegség előálljon, mégis megvizsgálta e szeletek fajmelegét. Ugyanis e szeleteket és a velök egyenlő súlyú tömör fémet, melynek mérséklete is egyenlő volt azokéval, egy-egy edénybe tette, melyben egyenlő mennyiségű és mérsékletű víz volt. A mérsékletek kiegyenlődése után a két edényben a víz egyenlő mérsékletű volt. Ez mutatja, hogy a szeletek nem csak hogy tetemes változást nem szenvedtek, hanem fajmelegök teljesen változatlan maradt.

Ha meggondoljuk még, hogy e melegség órák után sem csökken, hanem mindig egyenlő mértékben fejlődik a fúrással, az uralkodó elmélet szerint meg nem magyarázhatjuk, hogy e roppant melegmennyiség honnan származik.

Meg lehet, gondolá Rumford, hogy a melegség a levegőtől származik, mely a fúróval és a henger belsejével szabadon közlekedett, és talán a folytonosan megújuló levegő teszi lehetővé a folytonos melegfejlődést. Hogy ezt is tisztába hozza, a hengert légmentesen elzárta; de a melegség tökéletesen oly mértékben fejlődött, mint előbb.

Mi legyen tehát a meleg? kérdi Rumford. Kisérleténél a melegség sem fémből, sem a levegőből nem fejlődhetett; a víz sem adhatta a meleget, mert ez a gépből folyton nyert meleget. Azt pedig alig lehet elképzelni, hogy ugyanazon test közöljön is valamely testtel és el is vezessen tőle meleget. A viz chemiai változást sem szenvedett. A melegség a fúróból látszott jönni, azonban fölösleges hozzá tenni, hogy egy valami, a mi elszigetelt testből szakadatlanul és kiapadhatatlanul közöltetik, anyag nem lehet. Máskép e tünemény magyarázatát elképzelni sem lehet, ha csak fel nem tételezzük, hogy a melegség mozgás.

Azon mozgás, melyet a fúróval közlünk, átalakul oly mozgássá, melyet mint meleget veszünk észre.

II. Davy kisérlete.

Igen természetes, hogy a régi elmélet követői még mindig találtak kibúvót elméletük támogatására. Természetes ez először azért, mert oly nézetet vagy elméletet, melybe valaki már bele élte magát, csak nehezen hagyhatja el, és másodszor mert e kisérlet inkább tagadó, mint direkt bizonyítékot nyujt. Ilyen lépés jelentősége különösen abban nyilvánul, hogy a gondolkodást ezen irányba tereli, és új bizonyítékok felderítésére indít.

Már egy évvel később 1799-ben Davy híres angol természetbuvár még meggyőzőbb módon mutatta meg, hogy a hő anyag nem lehet.

Ugyanis e nézet szerint dörzsölés által a melegség csak akkép keletkezhetik, ha a test fajmelege csökken, vagy ha a dörzsölés által az anyag képességet nyer az oxygennel egyesülni, vagy végre, ha képességet nyer a szomszédos testekből meleget magába színi. Davy egy igen alkalmas testet használt annak megmutatására, hogy e három mód egyikén sem keletkezik a meleg; mert e test fajmelege dörzsölés által akkép változik meg, hogy fajmelege tetemesen nagyobb lesz, és a testen át ezen változtatás nélkül melegség nem mehet; s minthogy e test két darabjának dörzsölése által légüres térben, tehát hol oxygen nincs, tetemes mennyiségű meleget állított elő, be lőn bizonyítva, hogy a fönnebbi 3 módon melegség itt nem keletkezhetett; e tünemény tehát a hő anyag elméletével ellenkezik.

Azon test, mely az itt említett tulajdonságokkal bír, a jég. Davy két jég-paralellopipedet erős jégpálcákra erősített, és 29° Fahrenheitnél akkép dörzsölte egymáshoz, hogy a készülék más része nem dörzsöltetett. A jég a dörzsölő felületeken csakhamar olvadni kezdett, és az így keletkezett víz 35° F. volt. A jég tehát dörzsölés által vízzé válik, dacára annak, hogy a víz fajmelege majdnem kétszer akkora a jégénél. Az anyagelmélet szerint pedig a test fajmelegének a dörzsölés által csökkenni kell. A szomszédos testekből sem jöhetett a meleg, mert a jégen át melegség vezetés által csak úgy hatolhat, ha a jég megolvad. Egy második kisérlet mutatta, hogy jéggel elzárt légüres térben is keletkezik melegség dörzsölés által.

III. Davy elmélete.

Davy nem állapodott meg a régi elmélet megdöntésénél, hanem az új elméletet oly alaposan és következetesen fejtette ki, hogy mindaz, a mit e tárgyról írt híres értekezésében közöl, teljesen érvényes ma is. Azért alapelveinek megismertetésével a mai hőelmélet alapelveit ismertetjük meg.

Az anyag részecsei között — mondja Davy — két erő működik, az egyik e részecseket összetartja, a másik érintkezésüket meggátolja. A melegség, melytől a részecsek távolsága lényegesen függ, azonos e második erővel; azaz, ha a test absolut hideg volna, tehát semmi melegséget nem tartalmazna, akkor a részecsek érintkeznének egymással.

A melegség vagy azon erő, mely a részecsek érintkezését meggátolja, és bennünk a melegség és hidegség érzetét kelti, nem más, mint a részecsek sajátságos mozgása, valószinűleg rezgő vagy keringő mozgása, mely meggátolja, hogy a részecsek vonzásukat követhessék. Igen természetes, hogy ütés vagy dörzsölés következtében e mozgás növesztetik, minek következtében a test kiterjed.

A részecsek vonzó ereje egészen hasonló a bolygók centripetalerejéhez, és taszító ereje a centrifugal-erőhöz.

Ha valamely test részecseinek mozgását, akár mechanikai módon, akár közvetetlen melegítés által annyira növesztjük, hogy a részecsek

bizonyos határon túl távolodnak egymástól, akkor a test halmazállapota változik meg; az új halmazállapotban a test mindaddig megmarad, mig az erre szükséges melegséget megtartja.

A mérséklet azon tulajdonsága a testeknek, mely szerint mozgást felvesznek vagy átadnak. Azon test mérséklete kisebb, mely mozgást felvesz, és az-é nagyobb, mely mozgást közöl.

A különböző testek mérséklete, azaz képességük mozgást átadni és felvenni, különbözőkép növekszik, saját mozgásuknak egyenlő mértékben való növesztése által. E sajátságot a régiek különböző hőfoghatóságnak nevezték, pedig jobb volna mérséklet-képességnek nevezni, mert nem a molekuláris mozgások absolut mennyiségére vonatkozik, hanem azon képességre, hogy egyenlő mozgás felvétele által mérsékletük különböző mértékben növekszik.

MÁSODIK FEJEZET.

A hő és mechanikai erély egyenértéke.

I. Az erő megmaradásának elve.

Rumford és Davy a hőelmélet alapját megvetették, kimutatván, hogy a hőtünemények egyszerű, természetes módon magyarázhatók meg, ha felveszszük, hogy a hő tömecsmozgás.

Azonban a föladat óriási része még megoldandó volt, mert tudományos elmélettől nem csak azt követeljük, hogy általa a legfőbb tünemények megmagyarázhatók legyenek, hanem követeljük azt is, hogy valamennyi törvény az elmélet logikai következménye legyen. Annak kimutatását, hogy ezen elmélet alapján a hőtünemények csakugyan levezethetők, rendkivül előmozdította egy, az összes természettudományokra kiterjedő alapelv felfedezése.

Ezen elv az erő megmaradása törvényének neveztetik, és azt fejezi ki, hogy a természet egyetemességében meglevő hatásképes erő mennyisége változhatatlan. Azaz azon erő, melynek hatását valamely alakban észreveszszük, el nem veszhet, meg nem semmisülhet, hanem csak átalakul, hatását más alakban fellelhetjük.

Ezen elvet egyes törvényekből már a mechanikában következtettük, a midőn láttuk, hogy valamely erő által létesített mozgási erély tökéletesen átalakul helyzeti erélylyé, ha a test mozgását akadálytalanul követheti; és láttuk, hogy a gépek által erőt soha sem nyerhetünk, mert a gép két részén végrehajtott munka mindig egyenlő. Kimutatták ezt már a mult században Newton és Bernoulli Daniel. Azonban e törvény általános érvényességének lehetőségét, különösen a hőre, a villanyos és delejes erőkre, szóval az összes természeti erőkre vonatkozólag alaposan indokolt módon először J. R. Mayer, német orvos, 1842-ben mondotta ki.

II. A hő mechanikai egyenértéke.

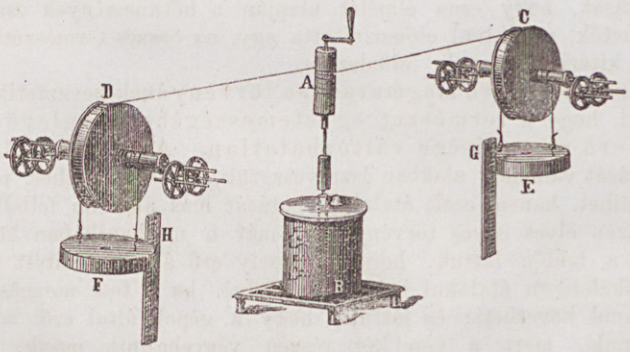
1. E törvény helyességének bebizonyítása a hőre és mechanikai munkára vonatkozólag oly nagyot lendített az új hőelmélet kifejlődésén, hogy talán páratlan gyorsasággal emeltetett a legtökéletesebb elméletek sorába.

Mayerral egyidejűleg és tőle függetlenül az angol mechanikus Joule rendkivüli ügyességgel tett kisérletekkel megmutatta, hogy ha mechanikai munka átváltozik meleggé, akkor bizonyos munkamennyiségből mindig ugyanazon határozott hőmennyiség keletkezik, akár milyen testek közvetítésével történjék az átalakulás. Kétszer akkora munkamennyiségből kétszer akkora hőmennyiség keletkezik. Ez által ki volt mutatva, hogy a surlódásnál eltünni látszó mechanikai munka csakugyan Mayer törvényének értelmében — el nem tünik, hanem tökéletesen átalakul: (legtöbb esetben) meleggé.

Ki fog ezen eredmény után kételkedni azon, hogy a surlódásnál csakugyan molekuláris mozgás létesül? Hogy azon mechanikai munka, melyet Rumford az ágyú fúrására használt, nem változtatta meg a test hőfoghatóságát, hanem teljesen átalakult a mozgás másik nemébe, molekuláris mozgássá, melyet mint meleget veszünk észre?

2. **Joule kisérletei.** — Joule mindhárom hallmazatu testben a részint összesűrités által, részint surlódás által keletkezett meleget megmérte, és összehasonlította a felhasznált mechanikai munkával. Legpontosabb kisérlete a következő: Egy vízzel megtöltött calorimeterbe AB tengely körül forgható lapátos kereket alkalmazott (232. ábra), mely a C és D csigákra font kettős fonallal hozatott

232. ábra.



mozgásba; a csigák pedig az E és F súlyok által indíttattak meg. A súlyok esési magasságát a G és H osztályzaton lehetett leolvasni.

A súrlódás által a folyadékban létesített meleget közönséges módon mérte meg, de oly higanyhőmérővel, melyen egy Fahrenheitfoknak $^1/_{200}$-ad részét biztosan meg lehetett itélni.

Az itt felhasznált mechanikai munkát megkapjuk, ha a súlyokat (2P) az általok leírt úttal (h) szorozzuk; melyből azonban még levonandó a csigák surlódására és a fonal hajlítására fordított munka. E munkát Joule akkép határozta meg, hogy a lapátos kerék kiiktatása után megmérte, hogy mekkora túlsúly szükséges a mozgás előidézésére. Ezen ph munkát, mely 0·75%-ot tett, levonta a $2Ph$-ból, valamint azon munkaveszteséget is (0·10%), mely onnan ered, hogy a súlyok bizonyos végsebességgel érkeznek az alzatra; azonban hozzá kellett adni azon munkát (0·03%), melyet a fonalak, ruganyosságuk által hajtottak végre, miután a súlyok már az alzatot elérték.

A mint a súlyok leérkeztek, az A hengert gyorsan kiemelte, s egy villaalakú állványra állítván, a fonalat ismét rávezette, hogy az előbbi müveletet ismételhesse. Miután ezt 20-szor ismételte, megmérte a mérséklet emelkedését, s ezzel egy kisérlet be volt fejezve.

Joule 40 ilyen kisérletből azt találta, hogy középértékben 424 kilogramm-méter munkából 1 hőegység keletkezik. E szám állandó maradt, akár a víz helyett higanyt, akár a falapátok helyett öntöttvaslapátokat használt. Egy másik kisérleténél vízcaloriméterben elhelyezett edényben a levegőt sűritőszivattyú segélyével összeszorította.

A dugattyú 300-szoros ideoda járása után a levegő 22 légköri nyomással bírt, és a calorimeter például C hőmennyiséget vett fel. Ezen C hőmennyiség nemcsak a levegő összenyomásából, hanem a dugattyúnak az edény falához való súrlódásából is ered. Az így előállott hőt C'-t, külön úgy kapjuk meg, ha levegő nélkül ismételjük az előbbi műtétet. C—C' adja meg a levegő összenyomásából eredt hőt. Az erre felhasznált mechanikai munka kiszámításánál feltesszük, hogy a dugattyú egész s útja alatt oly nyomást gyakorolt, mely kiadódik, ha a kezdetleges P nyomás és a végleges P_1 nyomás számtani közepét veszszük; tehát a munka

$$T = \frac{P + P_1}{2} \cdot s$$

E munkát elosztván a C—C' hőmennyiséggel, nyerte a hőegység előállítására szükséges munkát. E módon az előbbi számmal igen közel megegyezőt talált.

E számot (424) a hő mechanikai egyenértékének nevezzük. E szám állandósága világosan mutatja, hogy a melegségre és mechanikai munkára a Mayer-féle törvény érvényes. Még inkább bebizonyul ez az ellenkező irányú kisérletek által, melyeknél viszont melegségből mechanikai munka származik.

3. Meleg átalakulása munkává.

a) Ha valamely vízzel környezett edényben összeszorított levegő foglaltatik, s ez oly módon terjeszkedik, hogy e közben súlyokkal terhelt dugattyút felemel, úgy a levegőtömecsek mozgási erélyének rovására munka hajtatott végre; másrészt pedig a levegő és ezzel a víz lehűlt. Ugyan e tünemény áll be a gőzgépeknél is: a gőz lehűl, mialatt a dugattyút kitolja.

b) Ha kautsuk-szijat, két végén mohon meghúzva, kinyujtunk, ez a tágulásnak ellentáll, s a felhasznált munka rovására megmelegszik; ha azt ismét összehúzódni engedjük, munkát hajt végre és lehűl.

c) Gay-Lussac megmutatta, hogy ha két, egymással közlekedő gömb közől az egyik légüres, a másik pedig levegővel van telve, akkor a levegő átömlése alatt az elsőben a mérséklet annyival emelkedik, mint a mennyivel a másodikban csökken. A másodikból kiömlő levegő ugyanis, melegségének rovására győzi le a már átömlött levegő ellentállását, mely utóbbi e munkát meleggé változtatja át. Abból, hogy a két gömbben a hőváltozás egyenlő, látjuk, hogy ugyanazon felhasznált vagy létesített munka ugyanazon hőmennyiséget létesíti vagy használja fel.

Ha a levegő végtelen légüres térbe ömlik ki, akkor mérséklete nem változik.

d) Joule e kisérletet a következő módon ismételte. Egy calorimeterbe két egyenlő térfogatú rézgömböt helyezett, melynek egyike 22 légköri nyomású levegővel volt megtöltve, míg másika légüres volt. A mint az összekötő csövön alkalmazott csap megnyitása által a két gömb közlekedésbe hozatott, a levegő az üres gömbbe rohant, de a calorimeterben mérsékletváltozás nem állott be; a miből látható, hogy a mérsékletváltozás mindkét gömbben egyenlő. Ha azonban a második gömb nem üres, hanem például vízzel van megtöltve, úgy, hogy a betoluló levegőnek ezt ki kell szorítania, akkor már a calorimeter mérséklete alább száll.

Ilynemű kisérletekből tett számítások azt mutatták, hogy minden hőegységből 424 kilogramm-méter munka keletkezik.

Hogy ha tehát a munkaegységek számát $\frac{1}{424}$-el szorozzuk, kapjuk e munkamennyiségnek megfelelő hőegységek számát. E számát a mechanikai munka hőegyenértékének nevezzük.

HARMADIK FEJEZET.

A rejtett melegnek megfelelő munkamennyiség.

I. Az olvadásnál végrehajtott munka.

1. **A testbe vezetett hő működése.** — Az előbbi fejezetben tárgyaltak szerint, a testek örök mozgásban lévő tömecsekből vannak alkotva, melyeknek összes mozgási erélye, bizonyos adott pillanatban, képezi a testben foglalt hőmennyiséget.

A kisérlet már megmutatta, hogy ha valamely testet hevítünk, vagyis ha tömecseinek mozgásait élénkítjük, akkor kitágul. A hőnek e működése könnyen belátható; ugyanis, ha a test melegebb, a tömecsek nagyobb táglatu rezgéseket végeznek, és azért nagyobb tért is foglalnak el. De e kitágulás létesítésére munka szükséges, és pedig

kétféle: 1) azon munka, mely a tömecseket vonzásuk ellenére egymástól eltávolítja, s mely tehát a tömecsek helyzeti erélyévé alakul át; és 2) azon munka, melyet a test kitágulása alatt, a küllégnyomás és egyéb ellenállások legyőzésére, végrehajt. Az elsőt Clausius után belső, a másodikat pedig külső munkának nevezzük.

Ennélfogva a testbe vezetett hőnek egy része mint ilyen eltünik, és részint helyzeti erélylyé változik, részint tényleg munkát hajt végre, melyet bármily célra fel lehetne használni. Ha azonban a test ismét összehúzódik, a tömecsek helyzeti erélye ujra mozgási erélylyé, vagyis hővé alakul át; s ha az összehúzódás ugyanazon nyomás alatt történt, mint a kitágulás, akkor a külső munka is tökéletesen hőre változik vissza. Ha azonban az összehúzódás más nyomás alatt megy véghez, mint a kitágulás, akkor megtörténhetik, hogy munkát nyerünk, mialatt a test előbbi állapotába tér vissza; tehát a felhasznált hőnek csak egy részét kapjuk meg.

2. **Az olvasztó meleg megmérése.** — Valamely test olvasztó melege alatt értjük azon caloriák számát, melyeket súlyegysége absorbeál, ha megolvad; vagy szabadon bocsát, ha megmerevedik.

Ennek meghatározására rendesen a megmerevedésnél nyert meleget mérjük meg, csak a víznél mérjük a megolvasztásra szükséges melegmennyiséget, az által, hogy megmért 0 fokú jégtömeget szintén megmért t fokú vízbe teszünk, és megfigyeljük azon ϑ mérsékletet, melylyel a keverék bír, ha a jég már megolvadt. Tehát a már ismeretes Wilke-féle keverési módszert használhatjuk.

Provostaye és Desains legpontosabban hajtották végre a kisérleteket, a víz kezdetleges mérsékletét úgy választván, hogy a calorimeter végmérséklete csak kevéssé tért el a környezet mérsékletétől. Nagyszámú kisérleteiből találták, hogy a jég olvasztó melege 79·25 hőegységet tesz.

Regnault ugyan így, és Person kevéssé megváltoztatott módon épen ezen eredményt nyerték; úgy hogy a jég olvasztó melegét 79·25 hőegységnek vehetjük.

Egyéb testek olvasztó melegének, vagyis inkább a megmerevedésnél nyert melegnek meghatározására szintén a keverési módszert használták.

E célból a megolvasztott test meghatározott mennyiségét a caloriméterbe teszszük, és megfigyeljük ennek mérsékletnövekedését, míg a test megmerevedik.

Person e módon a következő testek olvasztó melegeit határozta meg:

Víz	79·25	Ón	14·251
Phosphor . . .	5·034	Bismuth	12·640
Kén	9·368	Ólom	5·369
Natronsalétrom .	62·975	Horgany	28·13
Kalisalétrom . .	47·371	Ezüst	21·07
Chlorcalcium . .	40·70	Higany	2·83

Ötvények:

3 Bismuth, 2 Ólom és 2 Ón	4·496
2 „ 1 „ „ 2 „	4·687

3. **Az oldásnál felhasznált hőmennyiségről.** — Nem csak az olvasztásnál használtatik fel melegség, hanem akkor is, ha valamely szilárd test folyadékban történő oldás által megy át folyós állapotba. A tömecsek eltávolítására szükséges munkát a meleg hajtja végre, minél fogva a szilárd test valamint a folyadék is lehűl. Így például, ha finom porrá tört sót vízbe vetünk, és annak oldását kavarás által gyorsítjuk, úgy a folyadékba mártott hőmérő néhány fok mérséklet sülyedést mutat. Ha egy rész finom porrá tört szalmiákot 2 rész vízben oldunk fel, akkor a keverék mérséklete 10 fokról—10 fokra sülyed; a keverék tehát 20 fokkal hidegebb, mint az egyes alkatrészek voltak.

Minél inkább eltávolíttatnak egymástól a tömecsek, annál nagyobb hőmennyiség használtatik fel. Így Person kisérletei szerint 8·4 caloria szükségeltetik 1 kilogramm konyhasónak 3·64 kilogramm vízben való feloldására, míg ugyanezen 1 kilogramm konyhasónak még egyszer annyi vízben való oldására 13·8 caloria szükséges; a négyszeres vízmennyiség körülbelül 18·4 caloriát igényel. Ebből következik, hogy valamely sűrűbb oldat ritkításánál is meleg használtatik fel.

Ebből látjuk, hogy a már rég ismert hidegkeverékek hatása honnan keletkezik.

Ha kéncyankaliumot vele egyenlő mennyiségű vízben oldunk, akkor a keverék + 18 fokról — 21·3 fokra sülyed. Még sokkal tetemesebb a lehűlés, ha víz helyett havat vagy porrá tört jeget használunk. Ekkor a só és a hó tömecseinek vonzása következtében a hó elolvad és az így származott vízben oldódik a só. Eképen kétszeresen használtatik fel meleg, először a hó olvadásánál és másodszor a só oldásánál; s a mérséklet az oldat fagypontjáig sülyed. Alább azonban nem sülyed, mert akkor a víz egy része ismét megfagy, és az innen keletkező meleg a mérsékletet ismét a fagypontig emeli.

Valamint az oldás és olvasztás meleget igényel, úgy mindennemű megszilárdulás meleget előidéz. Így például, ha valamely só oldatából kijegecedik, akkor az oldat felhevül; különösen feltünően mutatkozik ez, ha a telített oldatot nyugodtan állni hagyjuk, miáltal a jegecedést meggátoljuk, de a legkisebb rázás után a jegecedés azonnal megindul és nagy sebességgel folytatódik az egész oldatban, ilyenkor az oldat gyakran 50—60 fokra is felhevül.

II. A párolgás és a forrás elmélete.

Davy elméletét tovább fejtve Clausius a párolgást és forrást következőkép magyarázza.

1. **A párolgás magyarázata.** — A folyadékokban a molekülök laza kapcsolatánál fogva könnyen megeshetik, hogy a különböző

mozgások előnyös találkozása által a felszín egyes molekületjei szomszédjai köréből oly erővel löketnek el, hogy mielőtt még ezek vonzása által sebességöket elvesztették volna, a vonzási körön túl vannak, és a folyadék fölötti térben haladnak tovább.

Ha a folyadék feletti tér határolt és üres, akkor a kiszabaduló molekülökkel mindinkább megtelik. E molekülök, valamint minden gáz molekületjei haladó mozgást követnek, mi által az edény falaihoz ütköznek. E falak egyike a folyadék felszíne, mely a ráeső molekülöket általában nem fogja visszalökni, hanem a közlekedésnél ismét érvényesülő vonzás által a folyadékban megtartani. Minthogy pedig a diffusió tüneményekből tudjuk, hogy a legsűrűbb gáz sem képes egy másik gáznak a térben való behatolását meggátolni, azért az egyensúly állapotát, vagyis azt az állapotot, melyben a gőz sűrűsége növekedni megszünik, a telített állapotot csak úgy magyarázhatjuk, hogy egyenlő időkben a folyadék felszíne által ép annyi molekül vétetik fel, mint a mennyi kiszabadul. Hogy ha tehát a gőz telítve van, akkor a párolgás meg nem szünt, hanem folytonos párolgás és lecsapódás egymással egyensúlyt tart.

Ebből következik, hogy a telített gőz feszítő ereje a telítésnél csak attól függ, hogy hány molekül löketik ki az időegységben; mert ettől függ azon lökések száma, melyek a gőznek, mint minden gáznak feszítő erejét képezik. E szám pedig a molekülök mozgásainak élénkségétől — vagyis a mérséklettől — és a molekülök összetartásától a folyadékban, vagyis ennek cohäsiójától függ.

Ebből egyszersmind látható, hogy a folyadék felett elterjedt gáz, a párolgást meg nem akadályozhatja, hanem legfölebb csak annyiban késlelteti, a mennyiben a gőzmolekülök elterjedését lassítja.

2. **A forrás magyarázata.** — A forrásra ellenben, a mikor a gőz a folyadék belsejében fejlődik, a légnyomás lényeges befolyást gyakorol. A folyadék tömege ugyanis felső rétege által, mint valamely fődővel, melyet a légnyomás terhel, el van zárva; és a gőz, mely a folyadékban fejlődnék is, azonnal folyadékká sűríttetnék, ha a folyadék mérséklete nem akkora, melynél a fejlődött gőz feszítő ereje a folyadékra gyakorolt nyomást legyőzni képes. A mint a folyadék e mérsékletet eléri, úgy a legkisebb meleg hozzavezetése által az egész tömegben fejlődik a gőz, mely buborékok alakjában fölszáll. Világos tehát, hogy valamely folyadék forró mérséklete az, melynél a telített gőz feszítő ereje a külnyomással egyenlő.

3. **A folyadék mérséklete mindig valamivel magasabb, mint a származott gőzé.** — Minthogy a folyadéknak gőzzé való átalakításánál, a folyadékmolekülök összetartó erejét, a cohäsiot is le kell győzni, a gőz feszítő erejének nagyobbnak kell lennie, mint a külső nyomásnak; a mi csak a mérséklet megfelelő növekedése által létesülhet. De az e magasabb mérsékletnél képződött gőzök, már a folyadékban, még nagyobb mértékben pedig a kiszabadulás pillanatá-

ban kiterjednek, és a külső nyomással egyenlő feszítő erőt és az ennek megfelelő mérsékletet veszik fel. A gőzök lehűlése a kiterjedésre fordított munkából származik.

A forrás eme magyarázata teljes összhangzásban van az edénynek befolyásával a forró folyadék mérsékletére. Ha ugyanis valamely folyadék oly edényben forr, melynek falai által nagyobb erővel vonzatik, mint a melylyel a folyadék molekületjei egymást vonzzák, akkor ez utóbbiak egymástól könnyebben válnak el, mint az edény falaitól. Azért ilyen edényekben a folyadék azon mérsékletnél forr, melynél a gőzök feszítő ereje a külnyomást és a folyadék cohäsióját legyőzi. Ez a mérséklet egyáltalában a legnagyobb, melyet a folyadék felvehet; és ez azon mérséklet, melylyel a folyadék bírna, ha saját anyagából képezett edényben forrna. Ha ellenben a folyadék oly edényben forr, melynek falai kisebb erővel tartják azt vissza, mint saját molekületjei egymást vonzzák, akkor kisebb erő is elégséges a molekülöknek a falaktól való elválasztására; a falak körül tehát a gőz-fejlődés, vagyis a forrás, már kisebb mérsékletnél fog megindulni, mint az előbbi esetben. Ennélfogva a forró folyadék mérséklete annál mélyebb, minél kisebb az adhäsio a folyadék és az edény falai közt. De ebből egyszersmind látjuk, hogy az edény befolyása által a forró folyadék mérséklete csak csökkenhet, de soha sem emelkedhetik, mert legnagyobb értékét éri el akkor, ha a gőzfejlődés a folyadék tömegében indul meg.

III. A párolgásra felhasznált munkáról.

1. A fönt kifejtett elmélet alapján a forrásnál, valamint a felületen való párolgásnál is minden molekülnek szomszédjai köréből való elszakítása munkát igényel, mely munkát rendesen még a külső levegő ellentállása is szaporítja. Láttuk továbbá, hogy ilynemű molekuláris átalakulás nem egyéb, mint a molekülök mozgási erélyeinek átalakulása helyzeti erélylyé; a miből következik, hogy a helyzeti erély növekedése vele egyenértékü mozgási erély eltünésével jár. A molekülök mozgási erélye pedig arányos lévén a test melegével, következik, hogy valahányszor a molekülök helyzeti erélye növekedik, az annak megfelelő melegmennyiségnek el kell tünnie.

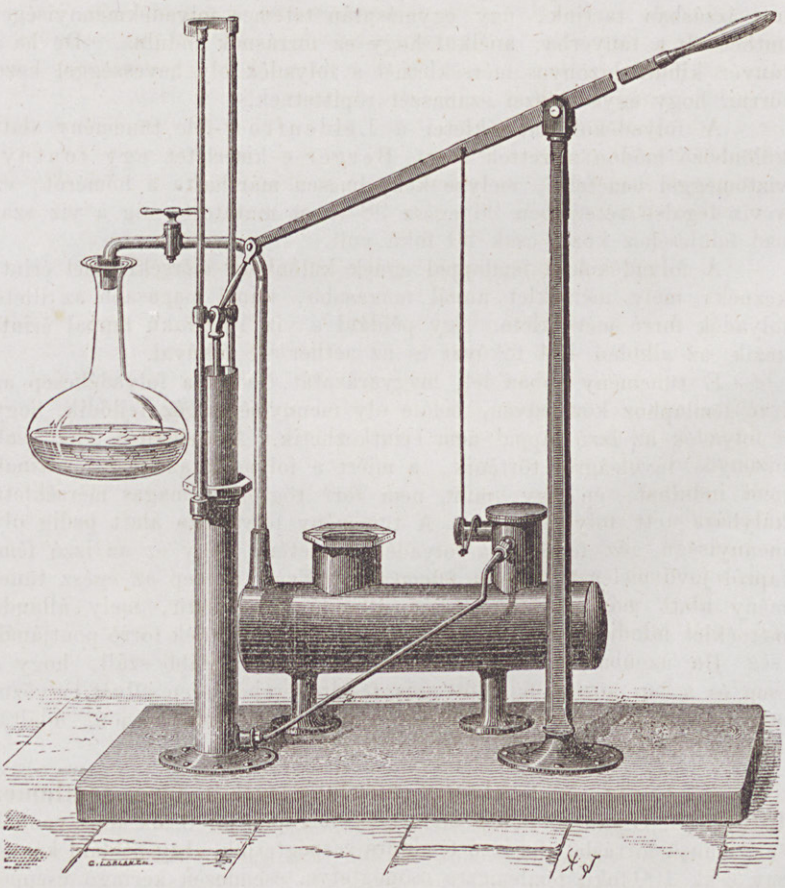
Hogy a páraképzésnél csakugyan eltünik melegség, azt már a forrásnál tapasztaltuk, minthogy a forró folyadékhoz vezetett melegség sem a folyadékot sem a gőzt magasabb mérsékletre már nem emelte. Ha vizet vagy aethert öntünk kezünkre, határozottan érezzük az elpárolgás szülte lehűlést, a mi annál nagyobb, minél gyorsabban történik a folyadékok elpárolgása.

Leslie következő kisérletével még feltünőbben mutatta, hogy mily nagy melegmennyiség használtatik fel az elpárolgásnál. A légszivattyú burája alá kevés vizet tartalmazó réztányért állítunk, mely egy kénsavat tartalmazó edényen áll. Ha a levegőt kiszivattyúzzuk, a víz gyorsan párolog, mig forrásnak ered, s minthogy a származott

vízgőz a kénsav által mohón elnyeletik, a gőzfejlődés akadálytalanul foly. Ez alatt a víz annyi meleget veszít, hogy a még el nem párolgott része rövid idő után megfagy. A mérséklet tetemes alább szállítása nem csak víznél, hanem bármily más folyadéknál is mutatkozik; és pedig annál nagyobb mértékben, minél illób az illető folyadék. Igy például megfagy a higany gyorsan párolgó kénessavban, és a szilárd szénsav és aether keveréke a légszivattyú burája alatt — 110 fokra hűl le.

2. Carré jégkészüléke. — Carré az előbbi kisérletet oly gép szerkesztésére használta fel, melylyel rövid idő alatt, csekély költséggel tiszta jeget lehet előállítani. Ez egy ólomhengerből áll (233. ábra), mely a kénsavat tartalmazza. Ennek egyik végén egy, kétszer meg-

233. ábra.



hajtott cső emelkedik, melynek végére kaucsuk gyűrű segítségével egy lapos, vizet tartalmazó üvegedényt légmentesen erősíthetni. A henger másik végén, szükebb cső segítségével, légszivattyúval közlekedik. A szivattyú emelőjére fémrúd van erősítve, mely a szivattyú működése alatt egy, a kénsavba merülő kavarót folytonos mozgásban tart. Ez által a kénsav felülete folytonosan megújul és a képződött vízgőzt mohón magába szíja. A szivattyú rövid működése után a víz forrásnak indul és megfagy.

3. **Leidenfrost-féle csep.** — Ha izzó fémlapra folyadékot csepegtetünk, úgy az előbbiek szerint azt várnók, hogy a folyadék heves forrás alatt rögtön eltünjék. De tényleg nem ez történik, hanem egy igen meglepő tünemény mutatkozik, melyet először Leidenfrost észlelt. A folyadékcsep ugyanis domború alakot vesz fel, mint a higany üvegedényben, sebes forgó mozgásnak ered, anélkül, hogy forrna. Ha a fémlapot lapos tányérral helyettesítjük, és ezt folytonos izzásban tartjuk, úgy egymásután tetemes folyadékmennyiséget önthetünk a tányérba, anélkül hogy ez forrásnak indulna. De ha a tányér kihűl, bizonyos mérsékletnél a folyadék oly hevességgel kezd forrni, hogy egyes részei szanaszét röpíttetnek.

A folyadékok mérsékletei a Leidenfrost-féle tünemény alatt különböző módon mérettek meg. Berger e kisérletet egy fontnyi víztömeggel ismételte, melybe kényelmesen márthatta a hőmérőt; ez a víz legalsó rétegeiben 96 egész 98 fokot mutatott, mig a víz szabad felületéhez közel csak 90 fokú volt.

A folyadékok a fémlappal ennek különböző mérsékleténél érintkeznek; mely mérséklet annál magasabb, minél magasabb az illető folyadék forró mérséklete. Igy például a víz 140 fokú lappal érintkezik, az alkohol 134 fokúval és az aether 61 fokúval.

E tünemény abban leli magyarázatát, hogy a folyadékcsep az izzó fémlaphoz közeledvén, belőle oly mennyiségü gőz fejlődik, hogy a folyadék az izzó lappal nem érintkezhetik. A melegités tehát csak bizonyos távolságról történik, a miért a folyadék azonnal forrásnak nem indulhat, ép úgy, mint nem forr rögtön a magas mérsékletü kályhára tett folyadék sem. A tünemény folyamata alatt pedig oly mennyiségü gőz fejlődik a folyadék felületén, hogy ez az izzó fémlapról jövő meleget teljesen felemészti. Ezért a csep az egész tünemény alatt majdnem tökéletesen állandó mérsékletü, mely állandó mérséklet mindig valamivel mélyebb az illető folyadék forró pontjánál.

Ha azonban a fémlap mérséklete annyira alább száll, hogy a csep és a lap között fejlődött gőz feszítő ereje a csep súlyát legyőzni már nem képes, akkor a folyadék a lappal érintkezésbe jön, miáltal a folyadék pisszegő zajjal gőzzé változik át.

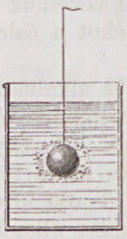
4. **A víz és a higany megfagyasztása izzó fémlemez fölött.** — Olyan folyadékok, melyek forrópontjai 0 fok alatt vannak sem jönnek forrásba, ha izzó fémlapra csepegtetjük. Igy például kénessav csak 100 fokú fémlemezre csöpögtetve, csendesen keringő cseppet

alkot, mely nem forr, hanem csak felületén párolog. Minthogy a kénessav az atmosphära nyomása alatt — 10 foknál magasabb mérsékletet fel nem vehet, igen természetes, hogy e kisérletnél sem birhat magasabb mérséklettel. Ennélfogva, ha az izzó fémlap fölött keringő kénessavra néhány csep vizet öntünk, ez azonnal megfagy. Faraday folyós szénsav segitségével izzó platinatégelyben higanyt is megfagyasztott.

5. **A Leidenfrost-féle tünemény gőzkazánokban.** — E tünemény néha a gőzkazánokban is létesül, a hol nem ritkán szerencsétlen explosiok okozója. Ha ugyanis a gőzkazánban a viz már annyira sülyedt, hogy a tűzfelület egy része már nem érintkezik vízzel, akkor az izzásba jöhet. Ha ezután új viz folyik a kazánba, előáll az előbb leírt tünemény: a viz az izzó fém körül nem jön forrásba, de a mint ez körülbelül 140 fokra lehűl, egyszerre oly menynyiségü gőz fejlődik, hogy a biztositó szelepen sem képes kiszabadulni, hanem gyakran szétrepeszti a kazánt.

6. **Ugyan e tüneményen alapszik az is,** hogy izzó fémgömb közönséges mérsékletü vízbe mártva néhány perczig izzó állapotban marad. Itt szemmel látható, hogy a viz a gömb körül széttolatik, oly módon, mint ha általa taszittatnék, és a gömb egy vízgőzrétegbe, mint akár egy tokba van foglalva. (234. ábra.) A mint a gömb körülbelül 140 fokra lehűl, a viz érintkezésbe jön a gömbbel, miáltal nagy mértékben gőz fejlődik.

234. ábra



Boutigny, ki e tárgygyal tüzetesen foglalkozott, figyelmeztet azon kisérletre, melyet a munkások fémöntő műhelyekben tesznek, hogy ugyanis megnedvesített kezeiket néhány pillanatig olvasztott vasban tartják, anélkül, hogy megsértetnének. E kisérletet olvasztott ólommal mindenütt lehet utánozni, e célra legjobb a kezet aetherrel megnedvesíteni; de ilyenkor a képezett oxydréteget gondosan el kell távolítani, mert ez a kézre tapad és megégeti.

Ismeretes azon mód, melylyel a ruhát vasaló nők a vasaló mérsékletét meghatározzák. Ugyanis vizet csöpögtetnek rá, vagy kevésbbé kényes mosónők ráköpnek, és ha a vízcsöp a vasalón lefut anélkül, hogy forrásba jönne, akkor az még használható, de ha a csep rögtön elpárolog azon helyen a hová esett, akkor a vasaló már lehűlt. Ez tehát nem egyéb, mint a Leidenfrost-féle tünemény alkalmazása a mérséklet meghatározására.

7. **A páraképződésre szükséges melegmennyiség meghatározása.** — A folyadékoknak a gáznemű állapotba való átváltoztatásánál a belső és külső munkának megfelelő melegmennyiség használtatik fel. Eltekintve attól, hogy a különböző mérsékletnél történő átváltozásnál a belső munka igen különböző lehet, a külső munka minden esetre lényegesen függ azon módtól, mely szerint az átváltozás történik. Igy például 50 fokú viz súlyegységét átalakíthatjuk

100 fokú telített gőzzé úgy, hogy a vizet 100 fokra hevítjük és az atmosphära állandó nyomása alatt forraljuk; vagy pedig az 50 fokú vizet azon nyomásnak teszszük ki, melynél forr, az így származott gőzt 100 fokra hevítjük és addig szorítjuk össze, mig telítve van. Mindkét esetben az 50 fokú víz súlyegysége 100 fokú gőzzé alakíttatott át, de a külső munka nagysága különböző. Arra tehát, hogy megmondhassuk, hogy bizonyos mérsékletü gőz előállítására mennyi melegség igényeltetik, mindenek előtt ismernünk kell az utat, melyen az átváltozás véghez ment.

A legegyszerűbb eset az, hogy a folyadékot azon nyomásnak teszszük ki, mely alatt az adott mérsékletnél forr, úgy hogy csak azon melegmennyiséget határozzuk meg, mely szükséges, hogy 50 fokú víz 50 fokú gőzzé, vagy 100 fokú víz 100 fokú gőzzé való átalakítására szükséges. Ezt a melegmennyiséget a gőz rejtett melegének nevezték el, mert a gőz magába felvette ugyan, de sem érzékünkre, sem hőmérönkre hatást nem gyakorol. Azon melegmennyiség, mely a belső munka végrehajtására fordíttatott, a gőzben mint helyzeti erély van meg, ezt tökéletesen visszanyerjük, ha a gőzt ismét folyós állapotba alakítjuk át. A külső munkára fordított meleget csak úgy nyerjük vissza teljesen, ha a gőzt ugyanazon nyomásnál folyósítjuk, a melynél képződött.

E szerint a gőz képzésére szükséges melegmennyiséget két módon határozhatjuk meg, vagy úgy, hogy egy calorimeterben bizonyos vízmennyiséget gőzzé alakitunk át és megfigyeljük a calorimeter melegveszteségét, vagy pedig bizonyos mennyiségü telített gőzt vezetünk a calorimeterbe, ezt ott folyósítjuk és a származott folyadékot a calorimeter mérsékletére engedjük lehűlni.

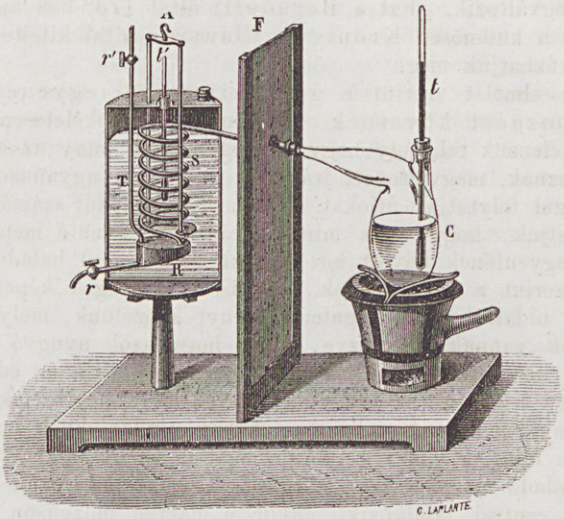
E módszerek elsejére a 235. ábrában látható készülék alkalmazható. A C retortában bizonyos folyadékmennyiséget destillalunk, és a gőzt az AR calorimeterben kigyódzó S csőbe bocsátjuk. A egy, a calorimeterbe nyuló kavaró, t' igen érzékeny hőmérő, és az R térben gyűl össze a csőben folyósított gőz. Az RS tér a T cső által oly edénynyel áll kapcsolatban, melyben a levegő megmért állandó nyomás alatt van. A kisérlet után az R-ben összegyült folyadékot lecsapoljuk és súlyát pontosan meghatározzuk.

A következő táblázat Regnault eredményeit tartalmazza, melyek a közönséges atmosphära nyomásnál forró folyadékokból származó gőzökre vonatkoznak.

	Caloria		*Caloria*
Víz	536·67	Jodäthyl . . .	57·30
Amilalkohol . .	204·03	Brom	49·77
Terpentinolaj . .	134·85	Önchlorid . . .	45·14
Citronolaj . . .	156·00	Arsenchlorür . .	67·73
Kőolaj	189·81	Phosphorchlorid .	65·24
Chloräthyl . . .	95·02	Ecetäther . . .	145·69

Watt, Southern és ujabb időben Regnault tüzetesen foglalkoztak azon melegmennyiség meghatározásával, mely különböző mérsék-

235. ábra.



letnél fejlődő gőz képzésére fordíttatik. Regnault eredményeiből kitünik, hogy e melegmennyiség változását a mérséklettel egyszerű törvény által meghatározni nem lehet.

NEGYEDIK FEJEZET.

A gázok elmélete.

1. A mechanikai hőelmélet még korántsem tökéletes. A szilárd és folyós testekre nézve feltettük, hogy a hő tömecsmozgás; de e mozgás természetét nem ismerjük. Ha már feltételezzük, hogy a tömecsek rezgő mozgásban vannak, fogalmunk sincs, hogy mily sebességgel haladnak ide-oda, és hogy mily táglat közt végzik rezgéseiket. A gázoknál már előbbre haladtunk. E testeket ugyanis azon tulajdonság jellemzi, hogy tömecsei egymástól függetlenek. Két gáz keverékében mindegyik ugyanoly nyomást gyakorol, mint ha a másik ott sem volna, a miből világos, hogy tömecsei egymásra nem hatnak. E függetlenségből következik, hogy tömecseinek egymáshoz való közelítése ép úgy mint eltávolítása, munka felhasználása nélkül megy végbe. Vagyis a gázoknál a belső munka semmi. Ez Joule kisérlete által be van bizonyítva, a ki megmutatta, hogy a gázok, ha kiterjedésök alatt nem hajtanak végre külső munkát, nem hűlnek le.

A gáztömecsek egymástól való függetlenségök kimutatása után, azon magyarázat okozott nehézséget, hogy ily kapcsolat nélküli tömecscsoport hogyan képezhet még is oly egységes tömeget, melyben az

egyensúly azonnal felbomlik, ha egyik oldalán a mérséklet vagy a nyomás megváltozik. Ezt a Bernoulli által 1738-ban ajánlott, és újabb időben különösen Krönig és Clausius által kifejtett elmélettel magyarázhatjuk meg.

Ezen elmélet szerint a gázok tömecsei egyenes vonalú haladó mozgást követnek. A tömecseket tökéletesen rugalmasaknak tételezzük fel, úgy hogy, ha egymással, vagy az edény falával találkoznak, megváltozott irányban ugyan, de ugyanazon mozgásmennyiséggel folytatják útjokat. A tömecsek roppant számát tekintve, feltételezhetjük, hogy azok minden irányban egyenlő mennyiségben, valamely egyenlőnek felvett középértékü sebességgel haladnak.

E szerint a gáztömecsek működéséről világos képet nyerünk, ha minden oldalról zárt, rugalmas edényt képzelünk, melyben rugalmas golyók vannak elhelyezve, úgy, hogy azok nyugvó állapotban csak igen kis részét foglalják el az edénynek. Ha az edényt megrázzuk, úgy a golyók az így nyert mozgásukat megtartják akkor is, ha az edény ismét nyugvásba jön; habár mindegyiknek iránya megváltozik, a mint egy más golyóba, vagy az edény falába ütközik.

A haladó mozgást más mozgás is kiséri. Ha ugyanis két tömecs nem épen central találkozik, akkor a haladó mozgáson kivül még forgó mozgás is keletkezik. Tehát a gáz tömecseinek a haladó mozgás mellett, még forgó mozgást is kell tulajdonítanunk.

A következőkben látni fogjuk, hogy ezen elmélettel a gázok valamennyi tulajdonságait megmagyarázhatjuk.

2. **A feszítő erő.** — Ha valamely gáz edényben el van zárva, úgy a tömecsek haladó mozgásukban az edény falaiba ütköznek; s ez ütések oly gyorsan ismétlődnek, és minden pillanatban oly számosak, hogy a gáz által gyakorolt feszítő erőt létesítik. Ha az edény falai mozdulatlanok, akkor a tömecsek rólok eredeti sebességökkel pattannak vissza és a nyomás állandó marad. A falat tökéletesen rugalmasnak tételezhetjük fel, mert egy molekül ütése által oly kevéssé vétetik igénybe ruganyossága, hogy teljesen visszanyeri eredeti alakját.

3. **Az összenyomásból származó hő.** — Tegyük fel már most, hogy valamely gázzal telt edénybe kivülről befelé dugaszt tolunk, a tömecsek, melyek ezzel találkoznak, nem csak beeső sebességeikkel veretnek vissza, hanem ehhez még a dugasz sebessége is járul; a tömecsek mozgási erélye tehát a dugasz mozgatására fordított munka rovására növekszik. Ép így van ez, mint a labdaverő bottal, mely a labda beeső sebességét megsemmisíti, és neki ellenkező irányban nem csak ezzel egyenlő, de még sokkal nagyobb sebességet is kölcsönöz. Innen származik a gáz mérséklet növekedése, a munkából a meleg előállítása.

4. **Lehülés a kitágulás által.** — Ellenkező esetben, ha a dugasz magára hagyva, a tömecsek ütései által belülről kifelé tolatik, akkor ezek sebessége csökken, és mérsékletük alább száll; bizonyos

melegmennyiség eltünik, mely azonban tökéletesen egyenértékü a dugasz által végrehajtott munkával.

5. **A Mariotte-féle törvény.** — Minthogy állandó mérséklet mellett ugyanazon gáz tömecseinek sebessége állandó, a nyomás csak az ütközések számától függhet. Az ütközések száma pedig annyiszor lesz nagyobb, a hányszor több tömecs esik a térfogat egységére.

Ha tehát felveszszük, hogy p nyomás alatt n tömecs v térfogatot foglal el, úgy a térfogat-egységre $\frac{n}{v}$ tömecs esik. Ha a nyomást változtatjuk, például p'-re, és a mostani térfogatot v'-nek nevezzük, akkor a térfogat egységre esik $\frac{n}{v'}$ tömecs. De a mint láttuk, a nyomások egyenes arányban tartoznak lenni a térfogat-egységre eső tömecsek számával, tehát

$$p : p' = \frac{n}{v} : \frac{n}{v'} \qquad \text{vagy}$$

$$p : p' = v' : v$$

A miből látjuk, hogy a Mariotte-féle törvény a gázok szerkezetére felállított elméletből szükségkép következik.

Azonban fönnebb láttuk, hogy a gázok a Mariotte-féle törvényt nem követik tökéletesen, hanem ettől kisebb-nagyobb eltéréseket mutatnak; a mi viszont azt bizonyítja, hogy elméletünk nem tökéletesen helyes.

Mi ugyanis feltételeztük, hogy a gáz feszítő ereje állandó mérsékletnél csak a tömecsek számától függ. Ez azonban csak akkor áll, ha a tömecsek valóban semmi hatást sem gyakorolnak egymásra, vagyis ha hatásgömbük nagysága azon úthoz képest, melyet akadálytalanul átfuthatnak, elenyésző csekély. E feltét magában foglalja azt, hogy a gázok tömecsei által tényleg elfoglalt tér, az egész térfogathoz képest, elenyésző legyen.

A gázok eltérései a Mariotte-féle törvénytől épen azt bizonyítják, hogy e feltét nincs egészen teljesítve, hogy tehát a tömecsek egymásra való hatása nem elenyésző csekély. Az összes gázoknál, kivévén a hydrogent, összenyomatásuk esetén a tömecsek kölcsönös vonzása-, mig ellenben a hydrogennél egy taszító erő érvényesül, ez utóbbi lévén azon egyetlen gáz, mely kevésbbé összenyomható, mint e törvény kivánja.

A hydrogen ezen ellenkező irányú eltérésének megmagyarázására azon hypothesist vehetjük segítségül, melyet a fény magyarázatára használtunk. T. i. hogy az egész világürt betöltő aether a testatomok által vonzatik, minélfogva minden parány aethergömbbel van körülvéve, melynek sűrűsége a paránytól való távolság növekedtével fogy. A mozgás mellett ezen aetherburkok is gátolják a parányok és tömecsek érintkezését.

Ha valamely gáz mérsékletét annyira emelve képzeljük, hogy tömecsei oly sebességgel bírnak, hogy vonzásuk hatása e mozgásra

valóban elenyésző, akkor, ha a gázt összenyomjuk, a tömecsek közt lévő aether eltávolító törekvése jön érvényre, a miből következik, hogy e mérsékletnél a gáz kevésbbé lesz összenyomható, mint a Mariotte-féle törvény kívánja. Hogy tehát valamely gáz e törvényt tökéletesen kövesse, tömecseinek oly sebességgel kell haladniok, hogy mozgásukra a molekuláris behatás ne legyen egészen elenyésző, hanem akkora legyen, hogy az aetherburok eltávolító törekvését épen ellensúlyozza.

6. **A Mariotte-Gay-Lussac-féle törvény elméleti levezetése.** — Mielőtt e törvényt elméletünkből levezetnök, azt a következő igen egyszerü alakra hozzuk. Ha a 255-dik oldalon x)-el jelölt egyenletben α-t kiemeljük, akkor

$$p\,v = p_0\,v_0\,\alpha\left(\frac{1}{\alpha} + t\right)$$

Jelöljük az absolut mérséklet 0 pontját, a — 273 fokot, T_0-sal, és a t fokú gáz absolut mérsékletét T-vel, akkor

$$\alpha = \frac{1}{T_0} \text{ és } \frac{1}{\alpha} + t = T$$

ezeket helyettesítvén, lesz

$$p\,v = \frac{p_0\,v_0}{T_0}\,T$$

$\frac{p_0\,v_0}{T_0}$ mennyiséget, mint bizonyos gázra nézve állandót, jelöljük R-rel, ez által a Mariotte-Gay-Lussac-féle törvényt ezen egyszerű alakban nyerjük:

$$y) \ldots . p\,v = R\,.\,T$$

azaz: ugyanazon gázmennyiség feszítő erejének és térfogatának szorzata mindig arányos az absolut mérséklettel.

Lássuk már most, hogyan következik az egyesített Mariotte-Gay-Lussac-féle törvény a gáztömecsek egyenes vonalú mozgásából.

Minthogy az edény alakja itt befolyással nincs, vegyük az e tárgyalásra legkényelmesebb alakot, a téglaalakot, melynek hosszsa legyen x, szélessége y és magassága z, úgy, hogy térfogata $v = x\,y\,z$.

E térbe zárt gáz tömecsei minden képzelhető irányban mozognak, de roppant számuknál fogva felvehetjük, hogy minden irányban egyenlő számmal haladnak; nincs is ok arra, miért mozogjon az egyik irányban több, mint a másikban. Ennélfogva, ha minden egyes tömecs mozgását a három főirányra felbontva képzeljük, mindegyikére az összes mozgás harmada fog esni.

A nagyszámú gáz tömecsek közül vizsgáljunk egyet, melynek tömege legyen m', sebessége az x irányban c'; e sebességgel a tömecs az $y\,z$ laphoz ütközik; a falat tökéletesen rugalmasnak tételezvén fel, ugyanezen c' ellenkező irányú sebességgel fog ez a faltól visszapattanni, ha az utóbbi nyugvásban van.

A tömecs mozgás-mennyisége az ütközés előtt $m' c'$, az ütközés után $-m' c'$, e kettő különbségét $2 m' c'$-t elvesztette. Egy ütközésnél tehát a tömecs a falnak kölcsönöz $2 m' c'$ mozgásmennyiséget.

Ha az időt, mely alatt a tömecs egyszer ide-oda megy, tehát mely idő után az ütközés ismétlődik, τ-val jelöljük, akkor $\tau = \frac{2x}{c'}$; és ha τ időben ütközik egyszer, akkor 1 mp.-ben annyiszor ütközik, a hányszor τ egy másodperczben foglaltatik; ha e számot a-val jelöljük, akkor

$$a = \frac{1}{\tau} = \frac{c'}{2x}$$

és a mozgásmennyiség, melyet a tömecs egy másodpercz alatt a falnak kölcsönöz, lesz:

$$2 m' c' a = \frac{m' c'^2}{x}$$

Az idő egységében létesített mozgásmennyiség méri az erő nagyságát; ha ezt p-vel jelöljük, akkor azon egy tömecs ütközéséből származott nyomás

$$p = \frac{m' c'^2}{x}$$

és a mennyi e nyomásból a nyomott lap felület egységére esik, lesz a feszítő erő mértéke; ha ezt p'-el jelöljük, akkor

$$p' = \frac{p}{xy} = \frac{m' c'^2}{xyz}$$

és így a gáz egy tömecséből származó feszítő erő

$$p' = \frac{m' c'^2}{v}$$

egy másik tömecsből

$$p'' = \frac{m'' c''^2}{v}$$

. . . . . .

. . . . . .

az összes tömecsekből származó feszítő erő tehát:

$$P = \frac{1}{v}\left(m' c'^2 + m'' c''^2 + \ldots\ldots\right)_{\frac{n}{3}\text{ tag}}$$

vagyis $$P = \frac{1}{v} \lesseqgtr m c^2$$

Az egyes $m' c'^2$ szorzatok helyett oly középértékü $m c^2$ szorzatot veszünk fel, mely ha $\frac{n}{3}$-szor vétetik, az előbbi összeget adja. Hogy ha tehát

$$\lesseqgtr m c^2 = \frac{n}{3} m c^2$$

akkor

$$P = \frac{n}{3} \cdot \frac{mc^2}{v} \qquad \text{vagy}$$

$$P \cdot v = \frac{2}{3} \frac{nmc^2}{2} \quad \ldots\ldots (1)$$

mely egyenlet azt fejezi ki, hogy valamely gáz térfogatának és feszitő erejének szorzata egyenlő a tömecsek haladó mozgásaiból származó mozgási erélynek $\frac{2}{3}$-dával. De e mozgási erély képezi a gázban foglalt hőt, tehát arányosnak tartozik lenni az absolut mérséklettel, minélfogva

$$Pv = RT \quad \ldots\ldots (2)$$

hol R az aránylagosság tényezője.

Ezen egyenlet, a mint fönnebb láttuk, a Mariotte-Gay-Lussac-féle törvény kifejezése.

Ezen elmélet szorosan összefügg Avogadro azon nevezetes hypothesisével, mely szerint az állandó gázok normalis térfogataiban egyenlő számú tömecsek foglaltatnak. — Tehát ha valamely gáz normalis térfogatát v_0-al és a benne foglalt gáztömecsek számát n-el jelöljük, úgy

$$\frac{n}{v_0} = \text{Const.}$$

fejezi ki e hypothesist.

Az 1) és 2) egyenletek összekötéséből ered

$$RT = \varphi n \cdot \frac{mc^2}{2}$$

ha φ-nek nevezzük az állandót; R értékét helyettesítvén, lesz:

$$\frac{p_0 v_0}{T_0} T = \varphi n \frac{mc^2}{2} \qquad \text{és ebből}$$

$$\frac{n}{v_0} = \frac{2}{\varphi} \frac{p_0}{T_0} \cdot \frac{T}{mc^2}$$

s minthogy az absolut mérséklet és az eleven erő viszonya állandó, ez egyenlet jobb oldala állandó, tehát valóban

$$\frac{n}{v_0} = \text{Const.}$$

7. A gáztömecsek közép-sebessége. — Az előbbi pont 1) alatti egyenletéből ki lehet számítani a különböző gázok tömecseinek középsebességét. Ezen egyenletből ugyanis:

$$c = \sqrt{\frac{3P \cdot v}{nm}}$$

hol mn a gáz tömege M.

Regnault kisérletei szerint 1 liter levegő súlya 0°-nál, és a normalis nyomásnál 1·293 gramm, tehát

$$\frac{M}{v} = \frac{1{\cdot}293}{g},$$

ez a levegő absolut sűrűsége.

Ha valamely gáz sűrűsége a levegőre vonatkoztatva d, akkor e gázra nézve

$$\frac{M}{v} = \frac{1{\cdot}293\,d}{g}$$

S minthogy a sűrűség a mérséklettel a Gay-Lussac-féle törvény szerint változik, azért, ha a gáz mérséklete t, akkor

$$\frac{M}{v} = \frac{1{\cdot}293}{g} \cdot \frac{d}{1+\alpha t}$$

továbbá $$1+\alpha t = \frac{1}{273}(273+t) = \frac{T}{273}$$

tehát a képletünkben előforduló

$$\frac{v}{M} = \frac{g\,.\,T}{1{\cdot}293\,.\,273\,d}$$

Még P-nek értékét kell számításba vennünk, mire nézve ismeretes, hogy a levegő normalis körülmények közt 1 □méter felületre 10333 kilogrammal egyenlő nyomást gyakorol.

Ezen értékeket helyettesítvén, lesz

$$c = \sqrt{\frac{3.10333\,.\,9{\cdot}8089\,.\,T}{1{\cdot}293\,.\,273\,d}}$$

Ha az állandó számokat összevonjuk és a gyök eleibe írjuk, akkor

$$c = 485\sqrt{\frac{T}{273\,d}}$$

Ebből látjuk, hogy a gáz-tömecsek haladó mozgásainak sebessége a gáz sűrűségéből vont négyzet gyökkel fordított, míg az absolut mérsékletből vont négyzet gyökkel egyenes arányban van.

Levegőre a fagypont mérsékleténél közvetetlenül megkapjuk a sebesség nagyságát, mert erre $d = 1$ és $T = 273$, tehát

$$c = 485 \text{ méter.}$$

A többi állandó gázra nézve, ha a sűrűség értékét helyettesítjük, ugyan e mérsékletre a következő értékeket nyerjük:

Gázok.	Sűrűség.	A tömecsek közép-sebessége.
Oxygen	1·1056	461m
Nitrogen	0·9713	492
Hydrogen	0·069	1844

E számok a tömecsek közép sebességei, melyek az összes tömecsekre ugyanazon mozgási erélyt adják, mint valódi sebességei. Meglehet azonban, hogy valódi sebességei e középértékektől tetemesen eltérnek.

A gáz-tömecsek ily sebességü mozgása ellentétben látszik lenni azon tapasztalattal, mely szerint azok sokkal lassabban terjednek el, mint a hogy ez a tömecsmozgás ily sebességéből következnék. Igy például a füst hosszabb ideig megtartja alakját, valamely szag sokkal lassabban terjed el, mint azt e sebesség magával hozná.

A gázok gyors elterjedését azonban korántsem lehet tömecseinek nagy sebességéből következtetni, mert az egyes tömecsek nem üres térben haladnak azon sebességeikkel, hanem tömecsekkel telt térben. Habár az egyes tömecsek nagyságaihoz képest igen távol vannak egymástól, e távolság méreteinkhez képest még is roppant csekély, úgy, hogy egy tömecs, a mint Clausius számításai által megmutatta, csak igen kis távolságra haladhat, mig más tömecsbe ütközik, melytől azután visszapattan, vagy szerencsésebb körülmények közt útjából eltérítve halad tovább, hogy azonnal egy másik tömecsbe ütközve, ismét eltéríttessék. Hogy igy a gázok aránylag csak lassan keverednek, könnyen belátható.

ÖTÖDIK FEJEZET.

Hőfejlődés chemiai tünemények által.

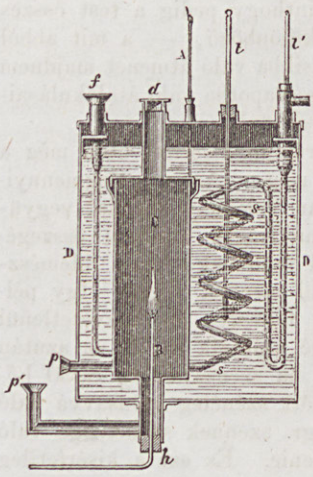
I. A vegyülésnél fejlődő hő.

1. Minthogy valamely test molekuláris szerkezetének változásánál szükségkép a test hőtartalma is megváltozik, világos, hogy chemiai vegyülés vagy bomlásnál, a hol maguk a molekülök megváltoznak az atomok uj csoportosulása által, vagy hő fejlődik vagy felemésztetik. A vegyülésnél általában meleget nyerünk, mivel az előbb szétválasztott atomok egymással uj molekülökké egyesülvén, helyzeti erélyüket elvesztik, minek rovására a mozgási erély növekszik. Ezt a tapasztalat igazolja, minthogy a vegyülés mindig — csak a legritkább eseteket kivéve — hőfejlődéssel jár, és nem ritkán tüztünemények kiséretében. Az utóbbi különösen a testeknek oxygennel való vegyülésénél gyakori, s mivel az oxygen a levegőben mindenütt kellő mennyiségben megvan, az oxydatio képezi legfontosabb földi hőforrásunkat. Ha az oxydatio tüztünemények közt megy végbe, azt égésnek nevezzük.

Nem sokára miután melegmennyiségeket megmérni már képesek voltak, megmérték a különböző testek égése által fejlődött meleget, részint gyakorlati célból, hogy a különböző fütő szereket össze lehessen hasonlítani, részint a tudomány érdekében.

Lavoisier e célból a megmérlegelt testeket jégcaloriméterben elégette és megfigyelte, hogy ez által mennyi jég olvasztatik meg. Utána több physikus foglalkozott e kérdéssel, de kellő pontosságot először Dulong ért el.

236. ábra.



2. Dulong kisérletei. — Dulong a 236. ábrában lerajzolt vízcalorimeterrel dolgozott. A megvizsgálandó testeket a C B edényben égették el, mely vízzel telt nagy szekrényben volt elhelyezve. Az égésre szükséges oxygent az *fpp'* csöveken vezették be; és a gáznemű égési termények az *ss* kigyócsövön át szabadultak ki, hogy a caloriméter mérsékletére hülljenek le. Egy hőmérő mérte a víz mérsékletét.

A gázokat szűk nyilásban végződő csövön, a folyadékokat gyapju szöveten égették el. A vas rugó alakjában égett el, a többi fémek pedig poralakban.

3. Favre és Silbermann eredményei. — Dulong után majdnem egyidejüleg foglalkoztak e kérdéssel egyrészt Favre és Silbermann, másrészt Andrews. Az elsők a kevéssé megváltoztatott Dulong-féle készüléket használták. Főbb eredményeiket a következő táblázatba foglaljuk össze. E számok azon hőegységek számát jelölik, melyek az illető anyag 1 grammjának elégése által keletkeznek.

Hydrogen	34462
Szénoxyd	2403
Faszén	8080
Cukorszén	8039·8
Graphit, természetes	7796·5
„ olvasztó kemencéből . .	7762
Gyémant	7770·1
Kén, természetes	2261·2
„ 7 év előtt olvasztott . . .	2216·8
„ lágy, 3 hó előtt előállított .	2213·8
„ szénkénegből jegecedett . . .	2225·8
„ természetes jegec	2220·9
„ olvasztott, de ismét kemény .	2263·9
„ lágy, mindjárt előállítása után	2258·4

E táblázatból látjuk, hogy valamely test elégése által keletkezett hő az anyag molekularis szerkezetétől függ, hogy t. i. a szén és kén különböző allotrop állapotukban különböző égési meleget szolgáltatnak. Ez az első pontban tett megjegyzések után várható volt, mert az égés által keletkezett melegség nem egyéb, mint a hővé alakult helyzeti erély különbsége az égés előtti, és az égés utáni testeknek. Ugyanazon test különböző allotrop állapotában történt elégéséből

ugyanazon égési termények származnak, úgy például szénből mindig szénsav, kénből kénessav származik. Minthogy pedig a test összes erélye a különböző allotrop állapotokban különböző, — a mit abból világosan láttunk, hogy az egyikből a másikba való átmenet majdnem mindig hőváltozással jár — ugyanazon végállapotba való átalakulásainál különböző melegmennyiségeket kell nyernünk.

Hess és különösen Favre és Silbermann kisérleti úton még a következő fontos törvényt állapították meg. Azon melegmennyiség, mely az elégésnél vagy egyáltalában valamely chemiai vegyülésnél fejlődik, egyenlő azon melegmennyiségek algébrai összegével, melyek a közbeeső processusok által fejlődnek, vagy fölemésztetnek, ha ezek egymásután és függetlenül mennek végbe. Igy például 1 gramm szén épen annyi meleget fejleszt, ha közvetetlenül szénsavvá ég el, mint ha először szénéleggé változik át, és ez azután szénsavvá ég. Minthogy 1 gramm szén, ha szénsavvá ég 8080 hőegységet fejleszt, és 1 gr. szénből képződött szénéleg szénsavvá való elégésénél 5607 hőegységet ad, azért 1 gr. szénnek szénéleggé való elégésénél 2473 hőegységet kell fejlesztenie. És ezt a kisérletileg meghatározott értékek igazolják.

4. **Hőváltozás egyéb vegyüléseknél.** — Valamely testnek oxygennel való vegyülése — a mint azt előbb láttuk — rendesen hőfejlődéssel jár. De van olyan eset is, melynél — Favre és Silbermann vizsgálatai szerint — az ellenkező történik, melynél ugyanis az oxyd képezésekor meleg felhasználtatik, mely melegség a szétbomlásnál ismét mint olyan tünik elő. Igy például ha a hydrogen-superoxyd ($H_2 O_2$) szétbomlik, hő fejlődik, és pedig minden gramm kiszabadult oxygennél 1363 hőegység. Ebből következik, hogy a víz oxydatiójánál épen annyi melegmennyiség felhasználtatik. Mert minden vegyület szétbontásánál annyi melegnek kell fejlődnie vagy eltünnie, a mennyi a vegyület képezésénél eltünt vagy fejlődött.

Ugyan az mutatkozik a nitrogenoxydul szétbomlásánál, itt is meleg fejlődik, és pedig minden gramm kiszabadult oxygénnel 1100 hőegység.

A többi chemiai tünemény is hőváltozást idéz elő az illető testekben, általában a vegyülés hőfejlődéssel és a szétbomlás hőveszteséggel jár.

A fémeknek különböző gázokban való elégésénél fejlődő hőmennyiségek igen nevezetes összefüggésben vannak egymással. Ha ugyanis valamely fém oxyddá való elégésénél a hőmennyiség fejlődik, és például chlorürré való elégésénél b, akkor e különbség valamennyi fémnél $b—a$ hőmennyiséget tesz. Igy például ha 1 gramm kalium oxyddá ég, 76238 hőegység fejlődik, ha chlorürré ég, 97091 hőegység, tehát az utóbbi esetben 20853-mal több hő fejlődik. A rézoxyd képzésénél 13684 hőegység fejlődik, tehát a chlorür képzésénél szintén 20853-mal több hőnek kell fejlődni, vagyis 34537-nek. A kisérleti eredmény igen megközelíti ezt az értékét, ez ugyanis 34500. Ugyanez áll a bromür-, jodür- és sulfürre.

Ha továbbá valamely fém oxyddá való elégésénél c hőmennyiség fejlődik, és egy másik fémnél d, akkor e két fémnél mindig ugyanazon $(c—d)$ különbség mutatkozik, akár chlorürré, bromürré s a többivé égnek el.

Az ide tartozó értékekeket a következő táblázatba foglaljuk.

Fémek	Oxyd	Chlorür	Bromür	Jodür	Sulfür
	képzésénél fejlödö hő				
Hydrogen . .	„	40192	28404	15004	— 6247
Kalium . . .	76237	97091	85678	72479	50906
Natrium . . .	73510	94326	82616	69143	48340
Zink	35751	56567	44857	31384	10581
Vas	32554	53350	41640	28167	7364
Réz	13684	34500	22790	9317	— 11486
Ólom	21808	42661	31248	18049	— 3461
Ezüst	— 2808	18049	6636	— 6563	— 28073

II. Állati meleg.

1. Minden ember és minden állat hőforrásul tekinthető, minthogy minden állat a közegnél, melyben él, magasabb mérséklettel bír, s e mérséklet a legtöbb állatnál teljesen független a környezet mérsékletétől. Igy az emberi test állandó mérséklete körülbelül 37 fok, a gyermekkorban valamivel magasabb: 37·6 fok. E mérsékletet igen egyszerüen az által nyerjük, ha hőmérőt a nyelv alatt vagy a honaljürben tartunk addig, mig mérséklete állandó marad. E mérséklet télen majdnem tökéletesen akkora, mint nyáron; sőt parányi a különbség a hideg és forró égöv alatt lakó lények közt.

Az emlős állatok mérséklete nem sokkal magasabb az emberénél, a különböző állatoknál 37 foktól 40 fokig változik; a madarak mérséklete 41 egész 44 fok.

A hidegvérü állatok mérséklete nem független a környezet mérsékletétől, de többnyire 1 —2 fokkal magasabb emennél.

E tényből, hogy az állati test állandóan magasabb mérsékletü, mint környezete, következik, hogy az állati szervezetben jelentékeny hőforrásnak kell lenni, minthogy a melegebb test folytonosan ad át meleget az őt környező hidegebb testeknek.

Ezen kivül a test még a bőrön történő folytonos elpárolgás miatt is veszit meleget; továbbá a hidegebb levegő, melyet az állat belélekz, az italok és ételek mind a test mérsékletére emeltetnek. Ehez járul még a kilélekzett vizpárák képzésére fordított jelentékeny melegmennyiség. Mind e körülményt tekintetbe véve Helmholtz egy, 82 kilogrammnyi tömeggel biró ember által 24 óra alatt veszitett hőmennyiséget 2 700 000 hőegységre becsüli.

Kérdés már most, az állati szervezet honnan nyeri e nagy mennyiségü meleget?

2. **Az állati meleg keletkezése.** — Az állati melegnek más forrását, mint az élő testben végbe menő bonyolódott chemiai átalakulást, képzelni nem lehet. Sokáig el volt fogadva azon nézet, hogy az állat melege csupán a tüdő működésének, vagy általában a lélekzés eredménye; a vér föladata volt azt a test minden részéhez eljuttatni.

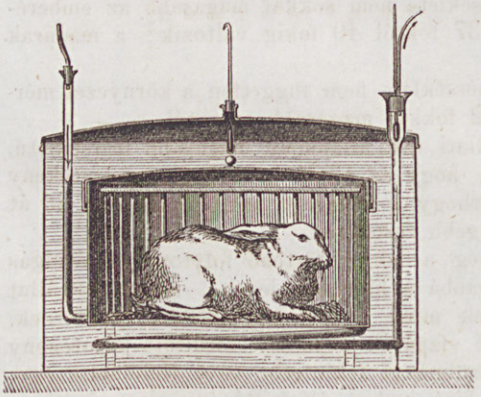
Most azonban már ki van mutatva, hogy a tüdő nem lehet székhelye az állatban fejlődő melegnek, mert ott vegyülés, a szénnek oxydatiója, — mint azt azelőtt föltételezték — nem megy végbe. A tüdő vékonyfalú sejtjein keresztül, a diffusio törvényei szerint, csak gázcsere történik. Edwards ugyanis megmutatta, hogy a szénsav a visszeres vérben már megvan, és azt abból csakugyan ki is választotta. Oly állatok továbbá, melyek hosszabb ideig nitrogenben vagy hydrogenben elélni képesek, e gázokban ép annyi szénsavat lehelnek ki, mint a mikor tiszta levegőt lélekzenek be. A visszeres vér csupán a használhatatlan részeket viszi a tüdőhöz, a hol helyettök oxygent vesz fel. Magnus a lüktető vérben az oxygen jelenlétét csakugyan kimutatta.

Az állat melege tehát a test minden részében fejlődik; de mindig arányos a belélekzett oxygen mennyiségével, mert ezen oxygen létesíti a chemiai változásokat mindenütt a hová a vér eljut.

Ezen elmélet bebizonyítására Dulong valamely állat által veszített meleget, és általa ugyanazon időben felhasznált oxygent a következő módon mérte meg.

3. **Dulong kisérlete.** — A 237. ábra Dulong calorimeterjének keresztmetszetét mutatja: egy, vízzel telt szekrény közepébe van elhelyezve az állatot tartalmazó rézdoboz. A készülékbe két cső vezet, melyek egyike gazométerből egyenletesen áramló levegőt vezet az állathoz, mig a másikon a kilehelt gázok egy másik gazométerbe vezettetnek. Ezután megméretik egyrészt a felhasznált oxygen, másrészt a származott szénsav mennyisége. A szénsav képezésére felhasznált oxygent levonván az összes oxygen mennyiségéből, nyerjük azt, mely a hydrogennel vízzé egyesült.

237. ábra.



S minthogy valamely vegyület képződésénél származott melegmennyiség ugyanaz, ha az egyszerre vagy ha fokonként állott elő, (v. ö. I. 3.) azért az állati testben a szénsav és víz képzése által származott melegmennyiséget ép úgy számíthatjuk ki, mint ha a szén és hydrogen tiszta oxygenben égett volna el. E számításból nyert adatot összehasonlítjuk az állat által a calorimeternek tényleg átadott melegmennyiséggel. Ilyen módon Dulong, mint az elsőnek viszonyát a másodikhoz 1 helyett 0·906-ot nyert.

De e kisérletnél az emésztés-szülte chemiai változások el vannak hanyagolva; továbbá számításba nincs véve a folytonos párolgásra fordított melegmennyiség. Valószinü, hogy a Dulong találta eltérés megfelel ezen elhanyagolásoknak.

4. **Az állati erő.** — Mayer 1865-ben hőelméletére alapított igen fontos elvet közlött, ugyanis azt, hogy az állatok által végrehajtott munka nem egyéb, mint az állati meleg munkává való átalakulása; ha az állat munkát hajt végre, az saját melegének rovására történik. Ezen állítást a tett kisérletek csakugyan igazolják.

Béclard a kar izmai közé hőmérőket helyezvén el, azt tapasztalta, hogy az izmok összehúzódásából származott meleg mindannyiszor kisebb, valahányszor az összehúzódás külső munka végrehajtásával jár.

Ennélfogva az állatok által a fönt említett módokon veszített hőmennyiséghez még a munkára átalakított hőmennyiség is járul.

Ha már most meggondoljuk, hogy az állatok közvetve vagy közvetetlenül csupán növényekkel táplálkoznak, a növényeket pedig a nap heve tartja életben, könnyen átlátható, hogy azon roppant munkamennyiség, melyet emberi kéz kormányoz, csupán a naptól ered.

HATODIK FEJEZET.

A hőtan alkalmazása.

I. A melegség mint indító erő.

1. Fönnebb láttuk, hogy mily nagy munkamennyiséget tesz már a közönséges mérsékletnél valamely testben foglalt melegmennyiség. Ezt a munkát kivánjuk bizonyos kitüzött célra értékesíteni. A módot, mely szerint ez lehetséges, már fönnebb találjuk kijelölve, a midőn a testek kitágulása által végrehajtott külső munkát vettük szemügyre. Könnyen belátható, hogy ép úgy, mint ott a légnyomás ellenében — mely mint valamely teher nehezedik a testekre — hajtatik végre munka: úgy a melegség más teherrel növesztett nyomást is képes lesz legyőzni; tehát ha a testet megmelegítjük, vele terhet emelhetünk.

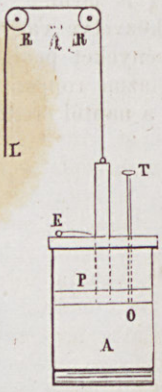
Igen egyszerü meghatározni azt is, hogy milyen testeket lesz legjobb e célra használnunk. A légnemű testek, melyek hevítése alkalmával nem kell belső munkát végrehajtani, és melyek nagy mértékben terjednek, oly feltünő előnyt nyujtanak a szilárd és folyós testek ellenében, hogy a választást azonnal megejthetjük.

A legegyszerűbb gép tehát, mely alkalmazható volna a melegségnek munkára való átalakítására: egy dugattyús henger; dugattyújat képzeljük közel a henger aljához, és az alsó kis térbe bizonyos t mérsékletü gázt vagy sűrített levegőt bocsátva. Ha a gáz feszítő ereje nagyobb a külső lég nyomásánál és a dugattyúra nehezülő terheknél, akkor ez a dugattyút feltolja, miáltal bizonyos Q mennyiségü mechanikai munka hajtatik végre. Ez alatt, mint azt már fönnebb láttuk, a gáz lehűl, és az így eltünt melegmennyiség, a dugattyú magasabb helyzete által létesített mechanikai helyzeti erélylyé alakult át.

Ezen egyszerü gép alapján Laubereau igen érdekes léggépet szerkesztett, mely azonban csak kisebb munka végrehajtására alkalmazható.

3. **A gőzgépek.** — A vízgőz feszítő erejének hasznosítását célzó törekvések nyomai már az ó-korban találhatók, de e törekvések vagy kielégítő eredményre nem vezettek, vagy nagy részt elvesztek, úgy, hogy hasznukat nem vehettük. A mi gőzgépeink létesítésére az első lépést Papin francia tudós tette, ki Blois-ban 1650-ben született; meghalt 1710-ben. Papin az előbb jelzett léggéphez igen hasonló gőzgépet szerkesztett.

238. ábra.



Az A hengerben (238. ábra) egy, az L kötélen függő dugattyú P föl-le mozoghat; a henger alján kevés víz van. Azon kezdjük, hogy a dugattyút leeresztjük a víz szinéig, mi közben a dugattyú alatt foglalt levegő az O nyiláson kiszabadul, mely nyilást azután a T rúddal elzárjuk. Erre a henger alján lévő vizet megmelegítjük, és az így származott gőz a dugattyút fölemeli; felső állásában E-nél lévő rúddal megakasztjuk. Ezután a tüzet a henger alól eltávolítjuk és a hengert a környezet hütő befolyásának teszszük ki; ezáltal a gőz feszítő ereje csökken, nagy részt lecsapodik, és ha az E-nél megakasztó rudat eltávolítjuk, a külső légnyomás a dugattyút nagy erővel löki a henger aljához. Hogy ha tehát az L kötélre valamely terhet erősítünk, ez a henger magasságára fog emeltetni.

Később Papin maga belátta, hogy e gép a gyakorlatban nem igen alkalmazható, és azért a dugattyú mozgása által forgó mozgást igyekezett létesíteni. Szerkesztett is olyan gépet, mely bányában hasznos munkát hajtott végre. Sőt ilyen géppel felszerelt hajót is készített, melynek hatását a Fulda folyón vizsgálta meg. E hajót azonban teljesen szétrombolták.

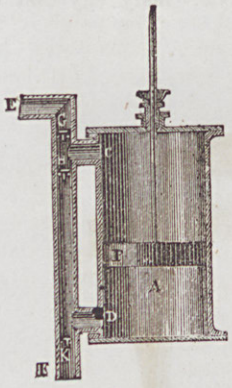
Papin-nel majdnem egyidejüleg Savery Papin-éhez hasonló gépet szerkesztett, melyet víz felemelésére használt.

De az első gőzgépet, mely az iparban sok oldalú alkalmazást nyert Newcomen és Cowley szerkesztették. Ennek előnye különösen abban állott, hogy a gőzt, mely a dugattyút felemelte, hideg víz befrecsentése által gyorsan lehűtötték, a gőz előállítása pedig egy, a hengertől külön álló kazánban történt.

4. **Watt gépe.** — 1763-ban Watt James, akkoriban a glasgowi egyetem mechanikusa, egy Newcomen-féle gép mintáját kapta javitás végett. Watt csakhamar felismerte e gép szerkezetének hiányait és tökéletesbitése által a gőzgépet azzá tette, a mi.

Találmányának leglényegesebb része az, hogy a gőzt nem a hengerben, hanem egy külön álló, hideg víz által állandóan mély mérsékleten tartott edényben hütötte le, miáltal a henger falainak káros lehütését megakadályozta. Továbbá a légnyomás hatását a dugattyú letolására nélkülözte, hogy azt a gőz hathatósb feszítő erejével helyettesithesse. A dugattyút a gőz által letolatta, felemelését pedig egy leeső súly által eszközölte.

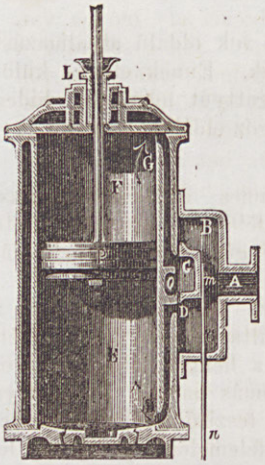
239. ábra.



Watt gépének lényeges részét a 239. ábra mutatja. A P dugattyú az A hengerben föl-le mozoghat, mely henger a C, D nyilások által az EF csővel közlekedik. A kazánból jövő gőz E-nél lép be, és mialatt a H szelep zárva van, a G szelepen át a dugattyú fölé kerül, és ezt lenyomja; ez alatt a hengerben foglalt levegő a K szelepen át kiszabadul. A mint a dugattyú a henger aljához ért, bezárjuk a G és K szelepeket, és a H szelepet kinyitjuk. Ez által a gőz az egész térben egyenletesen terjed el, és a dugattyú alatt ép akkora nyomást gyakorol, mint fölötte; a dugattyú már most könnyen emelhető fel egy, e célra vele összeköttetésben lévő súlylyal. Ezután ujra megnyitjuk a G és K szelepeket, miáltal a dugattyú ismét letolatik és az alatta lévő gőz a K szelepen át egy, hideg vízzel hütött edényben gyül össze, melyet condensatornak neveznek. Miután a súly a dugattyút ismét felemelte, a gép ujra kezdi működését. E gépet félhatású gépnek nevezzük, mert a gőz a dugattyúnak csak egy irányú mozgását létesiti.

5. **Watt teljes-hatású gépe.** — Ez azon gép, mely jelenleg általánosan el van terjedve. Ennél Watt már az ellensúlyt is mellőzi, mely eddig a dugattyút felemelte. A gőzt ugyanis majd a dugattyú alá, majd föléje bocsátja, mig a henger fölső és alsó része váltakozva közlekedik a condensatorral. Ez által a dugattyú mindkét utját egészen egyformán végzi, és igy egyenletes forgó mozgás létesitésére alkalmas.

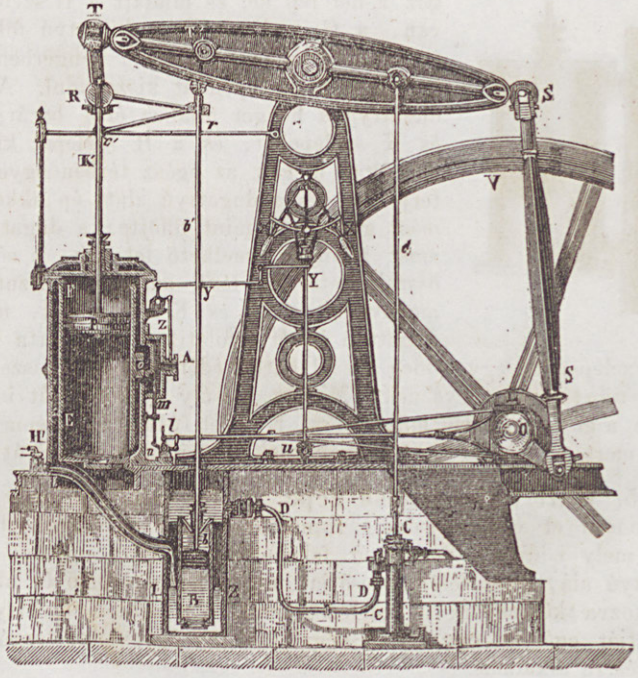
240. ábra



A gőz elosztását és a condensatorral való közlekedés szabályozását egy, a gép által hajtott toló-szekrény eszközli. Ennek szerkezetét a 240. ábra mutatja. A gőz a kazánból az A csövön át a BC térbe lép, a melyből azt két csatorna DD és GG közül az egyik a dugattyú alá, a másik a dugattyú fölé vezeti. Az *n* rúd által föl-le tolható *m* zár majd a D csatornát, majd a másikat zárja el a BC tértől. Mialatt azonban az egyiket elzárja, mint például a jelenlegi állásban a G csatornát, az alatt a másik, most a D csatorna, a BC térrel, mig a BC-től elzárt csatorna az OG térrel közlekedik, melyből egy cső a condensatorba vezet. Látjuk tehát, hogy a henger egyik része a condensatorral van összekötve; mig másik része a gőzkazánnal közlekedik. Az *n* rudat maga a gép hozza mozgásba.

A 241. ábra az egész gépet tünteti elő. Az AEPF dugattyús hengerre a *zy* több sarkú emelő van alkalmazva, mely egyrészt a

241. ábra.



gőzt vezető csövet elzáró szeleppel, másrészt az xxy forgó szabályzóval áll összeköttetésben; ez utóbbi a gép tengelyével oly módon van összekötve, hogy azéval arányos sebességgel forog. Ha e sebesség a kellőnél nagyobb, akkor az xx szárnyak emelkednek, mit az y tok követ; ezen emelkedéssel a szelep a gőz útját mindinkább elzárja, miáltal a mozgás ismét lassul. A dugattyú rúdja K, a TT' *rr'* Watt-féle parallelogramm közreműködésével, hat a TS emelőre, oly módon, hogy E köríveket ír le, mialatt K függélyes mozgást végez. A TS ingó emelő az SS hajtó-rudon kivül, mely a V lendítő kereket hajtja, még a *b* és *c* dugattyú-rudakkal van összekötve. A toló-szekrény *m* rúdja a lendítő kereken excentricusan megerősített *Ll* rúd által hajtatik. A nagy tömegü lendítő kerék által egyenletes forgó mozgásban megtartott főtengely végnélküli szijakkal tetszés-szerinti kerékrendszerrel köthető össze.

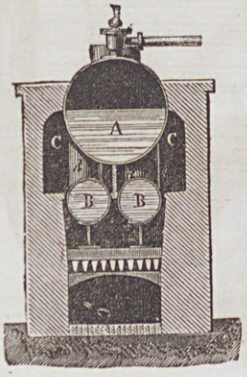
Lz-nél látjuk a condensatort, melybe a H' csövön át folytonosan hideg víz folyik; mig a meleg víz a B szivattyú által fölemeltetik, és a D'D csövön a CC' szivattyúba kerül, mely azt ismét a kazánba vezeti vissza.

Ha a gőz feszítő ereje egy atmosphäránál nagyobb, akkor működése után nem szükséges azt a condensatorba vezetni, hanem a szabadba lehet bocsátani. Ezeket a gépeket magas nyomásuaknak, mig az előbbieket alacsony nyomású gépeknek nevezzük.

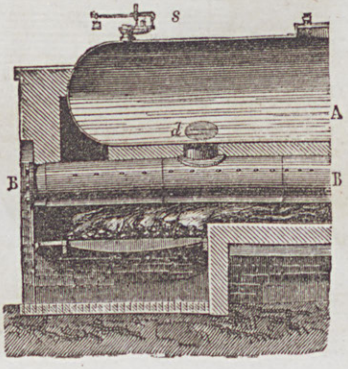
Ujabb időben még azon változás történt e gépen, hogy a gőzt nem a dugattyú egész útja alatt bocsátják rá, hanem annak csak megindítására használják, miután a tapasztalat mutatta, hogy ez elegendő a gép mozgásának megtartására. Ez által a gőz és ezzel a fűtőanyag tetemes része megtakaríttatik.

6. **A gőzkazán.** — Azon edényt, melyben a gőzt előállítják kazánnak nevezik. Egy álló gőzgép kazánjának keresztmetszetét a 242. ábra és hosszmetszetét a 243. ábra mutatja. Egy nagy vaspléhből készült henger A, mely mindkét végén gömbölded alakkal

242. ábra.



243. ábra.

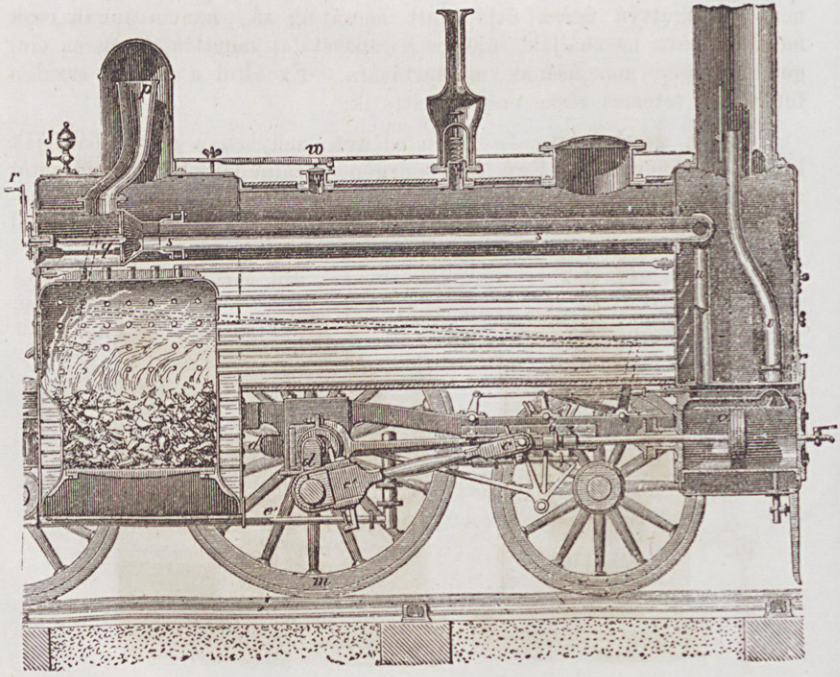


bír, csövek által (*d d*) két kisebb hengerrel (B B), melyek forralóknak neveztetnek, áll kapcsolatban. Ezek közvetetlenül a tüzelő lángjával érintkeznek, mig a meleg levegő a C C térben terjed tovább és ott a kazánt a benne foglalt víz szinéig melegíti; innen a kürtön át kiszabadul.

Minden kazán bistosító szeleppel (*s*) van ellátva, vagyis olyan szeleppel, mely rendesen egykarú emelő által oly erővel szoríttatik le, hogy a gőz feszítő ereje által kinyílik, ha ez a kellőnél túl növekedett. Ezenkivül a kazán gőzterével egy manométer áll összeköttetésben, melyen a gőz nyomásának nagysága minden pillanatban leolvasható.

Minthogy a víz állásának a kazánban csak igen kis határok közt szabad ingadoznia, hogy a gép menete meg ne akadályoztassék, vagy a kazán a szétrepesztés veszélyének ki ne tétessék: minden kazán kétféle vízmutatóval van ellátva. Az egyik a vízszín körül alkalmazott csapokból áll, melyek kinyitása által megtudhatjuk, hogy az egyes csapok magasságaiban víz van-e vagy gőz. De e kisérlet nem mindig ad biztos felvilágositást, mert a víz is, a gőz is nagy erővel löketik ki, és maga a gőz ép úgy nedvesíti meg az érintett testeket, mint a víz. Azért minden kazán még e csapokon

244. ábra.



kivül egy, alul a vízzel, és fölül a gőzzel közlekedő üvegcsővel van felszerelve; ezen folytonosan lehet a víz állását szemlélni.

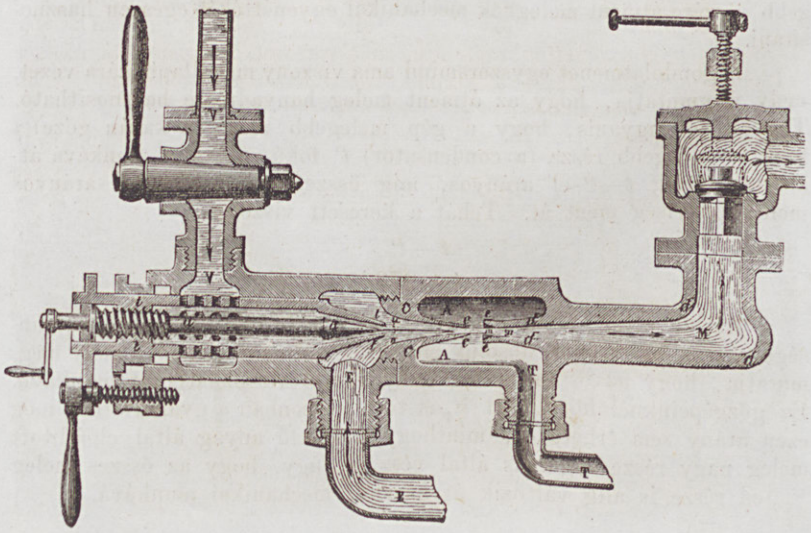
7. **A locomotiv.** — Ez egyike a legjelentékenyebb alkalmazása a gőzgépeknek; 2 dugattyús hengerrel működő magas nyomású gép. 6 kereken áll, melyeknek két középsőjét a *b*-nél vízszintesen vezetett dugattyúrúd hajtja. (244. ábra.) E kerekek forgatása által az egész gép mozog, ha a kerekek csuszó surlódása nagyobb, mint a mozditandó teher.

A kazán a gép derekát képezi, melyen, a fütő-felület nagyobbitása céljából, számos cső vonul át, ezeken keresztül az izzó égési termények a kürtőbe kerülnek. A gőz a *pssu* csövön vezettetik a hengerbe, mely az *r*-nél kezelhető *q* csap által részben vagy egészben elzárható. A felhasznált gőz *v* csövön át a kürtőbe vezettetik, hol a tüz fentartására szükséges léghuzamot nagy mértékben élénkiti. A kazán az *e'* csövön át igen érdekes módon töltetik meg.

A kazán megtöltésére szolgáló készüléket a 245. ábra mutatja. A kazán gőze a *vv* csövön tódul a *tt* kúpalakú nyiláshoz, mely az *aa* csúcs mozgatása által nagyitható vagy kisebbithető. E gőzroham a levegőt magával rántván, a *tu* térben légritkitást idéz elő, miáltal a külső levegő nyomása az E csőbe vizet hajt. A mint a viz a *tu* térbe ér, azt a gőz magával rántja, úgy, hogy nagy sebességgel löketik az M térbe, hol magának egy szelepet kinyitva, a kazánba ömlik.

7. **A gőzgép elmélete.** — Minthogy a gőzgép által munkát hajtunk végre, ott szükségkép e munkával egyenértékü melegnek el kell enyésznie. A fütő anyag azonban nem csak a munkává átalakí-

245. ábra.



tott meleget szolgáltatja, hanem azon föltételt is kell teljesítenie, mely nélkül melegség munkává soha át nem alakulhat. E föltételt világosan láttuk ép úgy a lég- mint a gőzgépeknél, mely abban állott, hogy a levegőt, illetőleg a gőzt le kell hűtenünk. Ha a gőz nem hűttetnék le, hanem megtartaná azon mérsékletét, melylyel a kazánból áramlott, nem volna lehetséges azon nyomás-különbséget előállítani, mely a dugattyút mozgásban tartja.

Hogy bármely hő-indította gép munkát hajtson végre, arra a lehütés nélkülözhetetlen, mert a meddig a gép minden része egyenlő mérsékletü, lehetetlen melegét munkává átalakítani. Meleg csak úgy alakulhat át munkává, ha magasabb mérsékletü testről át megy alacsonyabb mérsékletüre, és ekkor is az átment összes melegnek csak csekély része változik át munkává.

S. Carnot, francia tudós, ki e tárgyat legelőször tanulmányozta, a meleg mechanikai munkaképességét a vizével hasonlította össze. Ép úgy, mint a víz ugyanazon fölszin mellett, úgy a meleg ugyanazon mérséklet mellett nem létesíthet munkát; és valamint mechanikai munka létesítésére szükséges, hogy a víz magasabb felszínről alacsonyabbra essék, ép úgy szükséges, hogy a meleg is magasabb mérsékletü testről alacsonyabb mérsékletüre menjen át.

Ha a gőz működése után az absolut zerus pontra hülne le, vagyis — 273 fokra, akkor a benne foglalt összes melegmennyiség alakult volna át munkává. Ekkor oly meleg árán, mely képes 1 kilogramm víz mérsékletét 1 fokkal növeszteni, 424 kilogramméternyi mechanikai erélyt nyernénk. Minthogy azonban teljesen lehetetlen gépeink valamelyik részét az absolut zéruspontnak megfelelő mérsékleten megtartani, nem is lehetséges a gép melegebb részéről hidegebb részére átment melegnek mechanikai egyenértékét egészen hasznosítani.

E gondolatmenet egyszersmind ama viszony megállapítására vezet, mely megmutatja, hogy az átment meleg hanyadrésze hasznositható. Tegyük fel ugyanis, hogy a gép melegebb része (a kazán gőze) t fokú és hidegebb része (a condensator) t' fokú, akkor a munkává átalakult meleg $t—t'$-el arányos, mig összesen $t + 273$-mal arányos melegmennyiség ment át. Tehát a keresett viszony

$$\frac{t—t'}{t+273}.$$

Látjuk ebből, hogy a hőforrás és a hütő mérsékleteinek különbsége osztva az elsőnek absolut mérsékletével azon viszony, mely megmutatja, hogy az összes meleg hanyadrésze változhatik át munkává. Ez gőzgépeinknél körülbelül $^1/_4$-et tesz. Azonban a gyakorlatban még ezen arány sem érhető el, minthogy a tüzelő anyag által előállított meleg nagy része sugárzás által vész el, úgy, hogy az összes meleg $^1/_{10}$-ed része is alig változik át hasznos mechanikai munkává.

II. Fütés és szellőztetés.

1. **Kürtők.** — Minthogy az égés tüneménye, melyet melegforrásul használunk, csak a kellő mennyiségü oxygen jelenléte által tartható fön, azért minden fütő készüléknél a szükséges légáram képezi a legfőbb kelléket. Ily légáramot kisebb nagyobb mértékben minden tűz létesít, mivel a közelében lévő levegő és a gáznemű égési termények magasabb mérsékletük következtében kitágulnak, miáltal sűrűségök kisebbedik, a mit a hidegebb levegő kiegyenlíteni törekszik. Ha még az égési terményeket egy, a tűz fölé állított csövön bocsátjuk keresztül, akkor védve vannak a gyors lehűléstől, és a szél-okozta szabálytalan eloszlódástól, miáltal a léghuzam erősebb- és egyenletesebbé válik. Ezen alapszik a kürtők alkalmazása. A kellő léghuzam előidézésére ismernünk kell azon körülményeket, melyektől a kürtőkből kiömlő lég sebessége függ.

2. **A kürtőkből kiömlő lég sebességének meghatározása.** — Általában valamely edényből kiömlő gáz sebességének meghatározására a folyadékok kiömlő-sebességeire nyert képletet használhatjuk, mert ott a $v = \sqrt{2gh}$ képlet onnan ered, hogy a kiömlő vízréteg sebessége nem csak saját súlyából, hanem az egész víztömeg súlyából ered. (V. ö. Első rész, második fej. V.) Hogy ha tehát az egész víztömeg súlyából eredő nyomás helyett a gáz feszítő erejét veszszük, akkor a fönebbi képletet a gázok kifolyására alkalmazhatjuk, mely esetben h oly gázoszlop magasságát jelöli, mely súlyánál fogva akkora nyomást gyakorol, mint a mekkora feszítő ereje.

A kürtőknél szem előtt kell tartanunk, hogy a bennük levő levegő a külső levegővel közlekedik és a két lég közti súlykülönbség azon erő, mely a meleg levegőt a kürtőből kihajtja. A külső levegő helyett képzelhetünk egy, a kürtőben foglalt gázból alkotott és a külső levegővel egyenlő súlyú oszlopot; ha ennek H' magasságából levonjuk a kürtő H magasságát, nyerjük a h nyomás-magasságot. Világos, hogy H' annyiszor lesz nagyobb H-nál, a hányszor a külső levegő sűrűbb a belsőnél. Tehát

$$\frac{H'}{H} = \frac{d'}{d}$$

d a külső, d' a belső lég sűrűsége.

E sűrűségeket a gázok normális sűrűségeikkel kifejezve, lesz

$$d = d_0 \frac{1}{1+\alpha t} \text{ és } d' = d_0' \frac{1}{1+\alpha t'} \text{ tehát}$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{d_0'(1+\alpha t)}{d_0(1+\alpha t')}$$

d_0 az égési terények normális sűrűsége, tökéletes égésnél igen közel egyenlő a levegőével d_0'-el, mely a sűrűség egysége; minélfogva $d_0 = d_0' = 1$, tehát

$$\frac{d'}{d} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'}.$$

Ha itt az osztást végrehajtjuk, és α, mint igen kis szám magasabb hatványait elhanyagoljuk, akkor

$$\frac{d'}{d} = 1 + \alpha(t - t')$$

És így $$\frac{H'}{H} = 1 + \alpha(t - t')$$ a miből

$$H' = H[1 + \alpha(t - t')] \text{ és}$$

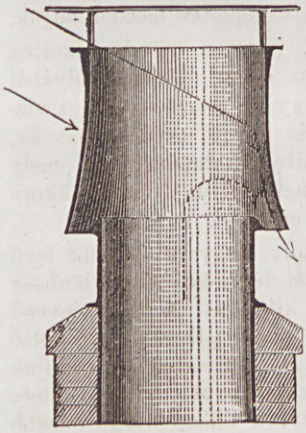
$$H' - H = h = H[1 + \alpha(t - t')] - H \text{ vagy}$$

$$h = H\alpha(t - t')$$

Ha ezt a sebesség képletébe helyettesítjük, nyerjük, hogy

$$v = \sqrt{2gH\alpha(t - t')}$$

246. ábra.



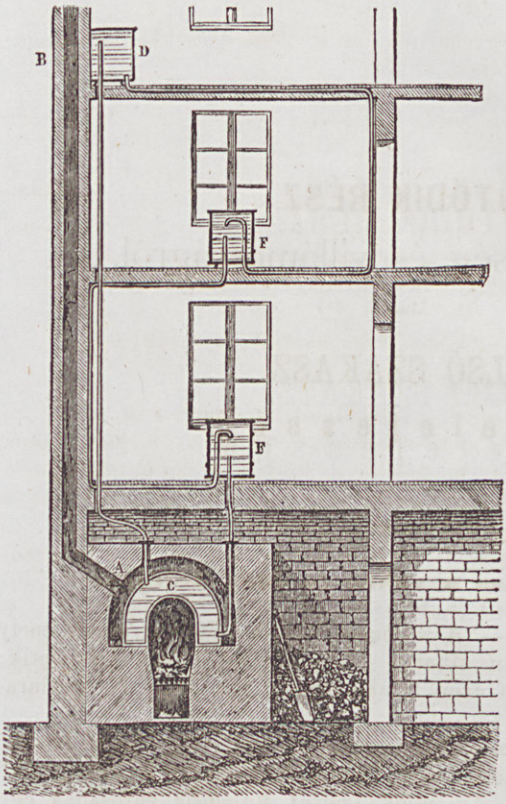
Ebből látjuk, hogy a kürtőből annál sebesebben ömlik ki a gáz, minél magasabb a kürtő és minél nagyobb a mérséklet-különbség a kürtő gáza és a külső levegő között.

Ha a kürtők, mint közönséges csövek, egyenesen nyilnak kifelé, akkor gyakran megtörténik, hogy két irányból jövő szél a levegőt fölülről lefelé hajtja és így a kürtőbe hatolva a füstöt visszaveri. Ennek elhárítására a kürtöket különböző födőkkel látják el. Egyike a legcélszerűbbeknek a Wolpert-féle födél, melynek keresztmetszetét a 246. ábra mutatja. Általa nem csak a füst visszaverődése van meggátolva, hanem, mint az ábrából látható, a szél a léghuzamot még előmozdítja.

5. **Lég-, víz- és gőzfütés.** — Nagy épületek közös fütésére e három neme a fütésnek van alkalmazásban. A légfütésnél legegyszerűbben lehet jó szellőztetést elérni. Az épület legmélyebb helyiségében nagy kályhával felszerelt kamrába vezetik a fris levegőt, a hol megmelegítik és csőrendszer által a szobákba vezetik. A szobákba vezető nyilások körülbelül embermagasságban vannak alkalmazva, mig a padlókhoz közel lévő nyilásokon át a felhasznált levegő csatornákon vezettetik a kürtőbe.

A vízfütés azon alapszik, hogy a meleg víz fölfelé, míg a hidegebb lefelé száll. A kiinduló pont tehát ismét a pincében van, a hol egy, vízzel tökéletesen megtelt kazánt hevítnek, a honnan a melegebb víz ugyancsak vízzel telt fémcsövekben emelkedik az egyes helyiségekbe, a lehült víz pedig egy másik csőrendszeren a kazán alsó

247. ábra.



részébe folyik. Egy német a berendezésnek a 247. ábra mutatja. A vizet a B kazánból az épület legmagasabb részében felállított, nem tökéletesen megtelt víztartó fölső részébe vezetik. Innen az alsó részszel közlekedő csőrendszeren az F F kályhákba vezetik. A D víztartóban a víznek tért hagynak a kitágulásra.

A kazánt valamint a kályhákat többszörösen vezetett csövekkel lehet helyettesíteni.

A víz különösen alkalmas a fütésre, mivel fajmelege igen nagy, és ezáltal a kihülés csak lassan megy végbe, úgy hogy a vízzel fűtött helyiségek majdnem állandó mérsékletüek.

A gőzfütésnél a vízkazánt gőzkazán helyettesíti, a fejlesztett gőz a vezető csövekben lecsapodik, és az így származott víz ismét a kazánba folyik vissza. A gőzfütés igen nagy mennyiségü meleget nyujt, különösen a lecsapodásból keletkezett meleg által; azért nagy termek fütésére alkalmaztatik legcélszerűbben.

A víz- valamint a gőzfütésnél a szellőztetést külön kell alkalmazni.

ÖTÖDIK RÉSZ.

A delejesség és villámosságról.

ELSŐ SZAKASZ.

A delejesség.

ELSŐ FEJEZET.

A delej hatása a vasra és más delejre.

1. **A delejesség.** — A vasércek között előfordul olyan, mely Fe_3O_4 képlet szerint van alkotva és vasoxydoxydulnak neveztetik; ezen érc némely példánya azon tulajdonsággal bír, hogy kis vasdarabokat magához vonz.

E tünemény már az ókorban ismeretes volt, úgy hogy eredete az idők homályába veszett. Két monda magyarázza a „magnes“ (delej) szó keletkezését. Az egyik szerint Magnesia városának egy juhászsza fedezte volna fel az érc e tulajdonságát az által, hogy vasszegélyü botján és vasszögekkel ellátott lábtakaróján érezte a vonzást, illetőleg a tapadást. A másik monda szerint a juhász neve volt Magnesia és Magnesiatól távol vidéken fedezte volna fel a vasérc e tulajdonságát.

Olyan testeket, melyek azon tulajdonsággal bírnak, hogy vasdarabokat magukhoz vonzanak, magneseknek vagy delejeknek nevezünk; magát e tulajdonságot pedig magnetismusnak, delejességnek mondjuk.

2. **A delej sarkai.** — Úgy látszik, azon tényen kivül, hogy magnesvaskő a vasat magához vonzza, egész a 13-dik századig semmit sem tudtak. Valószinüleg ezen időtájban lett ismeretes a delej azon nagyfontosságú tulajdonsága, hogy mindig észak és délfelé mutat, ha ezen elhelyezkedésében meg nem akadályoztatik.

Azonban a delej ezen tulajdonságát, hosszú ideig a tudományos vizsgálatok teljes mellőzésével, csak a hajózásnál alkalmazták.

Először Porta és utána Gilbert vizsgálta meg tüzetesen a delej hatását.

Hogy a delej szabadon felvehesse irányát, azt eleinte könnyü fadarabra erősítve a vizen usztatták; csak később akasztották a középpontján megerősített fonalra, vagy támasztották alá hegyesre csiszolt oszloppal.

Porta és Gilbert megállapiták, hogy a delej északi és déli végénél vonzza legerősebben a vasat, innen a középpont felé a vonzás mindinkább gyengül, mig a középen már semmi vonzás sem tapasztalható.

A delej azon két pontját, melynél a vonzás legerősebb, a delej sarkainak nevezték. Északi sarknak nevezték az északra mutató végét, délinek a délfelé állót.

3. **Mesterséges delej.** — Porta észre vette, hogy a vas a delejjel való érintés vagy dörzsölés által delejes lesz; még pedig ugy, hogy a vas az érintett sarkkal ellenkező delejességet nyer. Ha ugyanis egy vasrúd egyik végét a magnesvaskő északi sarkával érintjük, akkor a rúd érintett vége déli sarkká válik; de másik vége is delejes lesz, a hol a déli sarknak megfelelő északi sarkot találunk.

A vasat vagy még inkább az acelat erősebben lehet delejezni, ha a delejt rajta többször végig húzzuk. Az igy előállított delejeket, melyek sokkal erősebbek lehetnek a delejezésükre használt természetes delejeknél, mesterséges delejeknek nevezzük.

A delejezésnél az egyik sark a másik nélkül soha elő nem állhat. Azonban néha megesik, hogy az acélrúd közbenső pontjain is származnak sarkok. Ekkor a rúd mindkét vége egyenlő nevü sarkkal bírhat. Hogy a közbenső pontokon is vannak sarkok, azt legegyszerűbben akkép ismerhetjük fel, ha a rudat vasporral körülveszszük: a fölös por eltávolítása után a rúd a 248. ábrában látható módon lesz megrakva.

248. ábra.

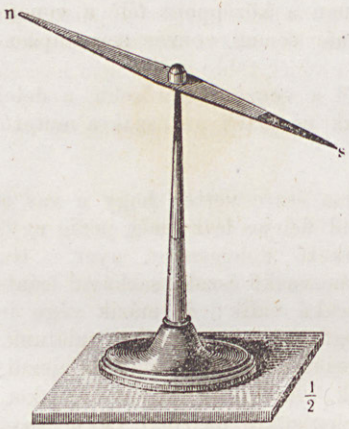


Gilbert megmutatta, hogy ha rendesen delejezett acélrudat széttörünk, akkor mindegyik vég sarkká változik; úgy hogy bár hány teljes delejt alkothatunk egy rúdból.

4. **A két sark különböző tulajdonsága.** — Ugyanazon delej két sarka rendesen egyenlő mértékben vonzza a vasat, úgy hogy pusztán a vonzásból a kettő között különbséget találni nem lehet; azonban delej iránt a két sark lényegesen különböző magatartást mutat. A két delej két-két sarka ugyanis egymást vonzza, mig a másik két sarkpár nem csak hogy nem vonzza, hanem taszítja egymást.

E tünemények tanulmányozására legjobban használhatjuk a delejtűt, mely rendesen hosszúra nyujtott négyszöget képez, és közepén acél- vagy achat-süveggel bír; e süveg mélyedése acélhegyben végződő tartóra helyeztetik (249. ábra). Igy a delej a vízszintes síkban szabadon foroghat.

249. ábra.

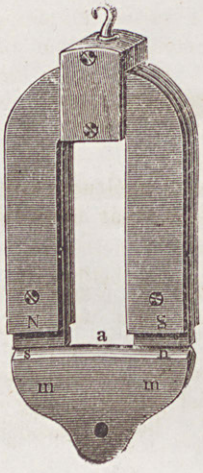


Ha ilyen delejtű *n*, északi sarkához egy másik delej északi sarkát közelítjük, taszítást tapasztalunk; ha pedig ezen északi sarkot az *s* déli sarkhoz közelítjük, e kettő egymást vonzza. A másik delej déli sarka vonzza az *n* sarkot és taszítja az *s* sarkot. S minthogy ezt általában kivétel nélkül találjuk, mondhatjuk, hogy egynevü sarkok taszítják, különnevüek pedig vonzzák egymást.

5. A delej tartóképessége. — Gilbert a delejek erősségét akkép hasonlította össze, hogy megmérte, milyen súlyú lágy vasat képesek rajtok csüngve tartani. Ezen súly a delej tartóképességének neveztetik.

Gilbert e vizsgálatai közt tapasztalta, hogy a delej más testekből nem bír el annyit, mintha csupán lágy vassal terheljük meg. Továbbá tapasztalta, hogy a delej többet bír el, ha fel van fegyverezve, azaz, ha acélpléhvel be van foglalva.

250. ábra.



Jelenleg U alakot adnak a mesterséges delejeknek, hogy tartóképességük lehetőleg nagy legyen.

S minthogy vastag acéltömeget tökéletesen átdelejezni nem lehet, erős delejek keskeny lemezekből vannak összetéve, melyek külön-külön megdelejeztetnek. A tartóképesség megvizsgálására lágyvasdarabot illesztünk a delejhez, mely horgonynak neveztetik; e horgonyra függesztjük a súlyt. Az erős mesterséges delejek a 250. ábrában látható alakkal bírnak.

A horgony nagyobb szerepet játszik, mint a minőt az első pillanatra neki tulajdonítani lehetne. Alakja és nagysága is nagy befolyással van a delej hatására. Jamin kisérletei és tapasztalatai szerint: arra, hogy adott minőségü és adott nagyságú acéllemezekből a telhető legjobb delej készüljön, a következő feltételeket kell teljesiteni.

1-ször. A horgonynak le kell kötnie a delej külső felületén elterjedő összes delejességet. E végből a horgony tömegét gondosan meg kell választani.

2-szor. E tömeg meg lévén határozva, az érintkező lap nagyságát mindaddig csökkenteni kell, mig a kevés szabad delejesség, melyet a horgony a delejen hagy, növekedni nem kezd.

3-szor. Az acéllemezek száma úgy választandó, hogy a horgony rátétele után a delejen valami csekély szabad delejesség jelentkezni kezdjen. Ha a lemezek száma ennél kisebb, akkor az állandó tartóképesség határa még nincs elérve, a kellőnél több pedig nem használ semmit.

4-szer. A markolatok erősek, jól hozzáillők legyenek és egymáshoz igen közel álljanak.

Minthogy továbbá a patkóalakú delej mindegyik sarka a horgony által megerősíttetik, azért a horgony a delejt nem csak az elgyöngüléstől megóvja, de gyakran erősbíti is.

A mint láttuk, a delej tömege és tartóképessége közötti összefüggés igen sok körülménytől függ. Azonban úgy látszik, hogy a hasonló módon készült és kezelt delejeknél a tartóképesség ugyanazon törvény szerint növekszik a delej tömegével, mint a más módon készült és kezelt delejeknél.

Häcker nagy számú kisérleteiből azt következtette, hogy a patkóalakú delej tartóképessége egyenes arányban van a delej súlyának négyzetéből vont köbgyökkel, vagyis ha T a tartóképesség és S a delej súlya, akkor

$$T = \alpha \cdot \sqrt[3]{S^2}$$

hol α az ismeretes, és az eddig még egészen fel nem derített körülményektől függő arányossági tényező.

Logemann és Wetteren olyan delejeket készítettek, melyeknek 1 fontosa 26 fontot bírt el. Jamin, a fönt elősorolt elvei alapján, még nagyobb hatású delejeket készíttetett, melyeket a bécsi világtárlaton mutatott be. A legnagyobb és egyszersmind az eddig készült delejek legnagyobbika, 50 kilogramm és tartóképessége állandóan 500 kilogramm.

Valószínű, hogy e delejek tartóképessége is a Häcker-féle törvény szerint növekszik, és a képletben csak az arányosság tényezője vesz fel más értékeket. Még egy nevezetes tényt kell megemlítenünk. Ha ugyanis patkóalakú delejt annyira megterhelünk, hogy tartóképességének határát majdnem elértük, és e tehert körülbelül 24 óráig rajta csüngni hagyjuk, ujra lehet súlyokat rárakni; bizonyos idő lefolyta után ismét lehet a súlyt növeszteni; s így folytathatni azt, mig a meghatározott tartóképességnek kétszeresét hordja. Ha e határon túl megyünk, a horgony leszakad; és ha a delejt ismét megterheljük, azt találjuk, hogy tartóképessége ismét a régi.

6. **Elmélet.** — A delejezés mivoltáról, a delejesség tüzetes tanulmányozása óta alkotott elméletek annyira eltérnek a természettani alapelvek megállapítása által lehetségessé vált alaposabb nézetektől, hogy ezen elméletek fejlődését követni alig volna érdemes. Maig sem sikerült ugyan még oly alapelvet felállítani, melyből az összes delejes tünemények természetes módon meg volnának magyarázhatók; de egyes tünemény-csoportok megmagyarázására vannak oly elméleteink, melyek segítségével az illető tüneményeket összefüggő egészszé füzni sikerült. Tehát addig, mig az ezen elméleteket helyettesítő alapelv fölállítása nem sikerül, ezeket kell elsajátítanunk, hogy a különben szétszórt tényeket egybefoglalhassuk.

A delej fönt megismert sajátságait következőkép magyarázzuk.

Gilbert azon tapasztalata, hogy delejes acélrúdról letört darabok mindig teljes — északi és déli sarkkal ellátott delejeket képeznek, azon föltevésre vezetett, hogy a természetes vas moleküljei már magukban teljes delejek, hogy t. i. egyik felök északi és a másik déli delejességgel bír. A delejezés akkor csak abban állana, hogy a molekülök akképp rendeztetnének, hogy egynevü delejességük egy irányba tereltetnék. A delejes vasrúd moleküljei tehát akkép vannak rendezve, hogy déli delejességgel biró részük a déli sark felé, a másik pedig az északi sark felé van fordítva.

Ezen elméletet a következő kisérlettel támogatják: Ha üvegcsövet vasporral megtöltünk és azután parafával bedugaszolunk, a cső szabályos delejt képez, ha valamely delejt többször végig huzunk rajta. Ha azután a csövet megrázzuk, tökéletesen elveszti delejes hatását, mert az egyes kis delejek szabálytalan keveréket képeznek.

Alább, a villámosság delejes hatásának tanulmányozásánál látni fogjuk, hogy ezen elmélet értelmében nem kell a molekülöket két egyenlő részre osztva képzelnünk.

A delej ezen szerkezetéből a delejes tünemények könnyen megmagyarázhatók. Ha például valamely vasdarabot a delej azon végéhez közelitünk, mely felé a molekülök északi delejessége van fordítva, akkor a vas valamennyi molekülje közelebb van a delej moleküljeinek északi delejességéhez, s igy a vas déli delejessége vonzatván nagyobb erővel, mint az északi, a közelített vég felé fordíttatik a vas déli delejessége. Ezen déli delejesség pedig nagyobb erővel vonzatván, mint a mekkorával az északi taszíttatik, az eredmény vonzás lesz.

A delej közepének hatása nincs, mert a hozzá közelített vasdarab egyenlő távolságban van a molekülök északi és déli sarkaitól.

Ha a molekülök oly szoros összefüggésben vannak, hogy a delejes hatás által csak nehezen rendezkednek a leírt módon, akkor a test nehezen delejezhető, de ha egyszer delejes, e tulajdonságát ép oly nehezen el is veszti. Ilyen test az acél. A lágy vas moleküljei ellenben könnyen rendezkednek, coercitiv-erejök csekély, azért a delejességet könnyen felveszi, de azt ép oly könnyen ismét elveszti.

7. **Mechanikai erők befolyása a delejre.** — Mind az, a mi a molekularis szerkezetet megváltoztatja, befolyással van a test

delejességére. Ismeretes, hogy a rázkodásnak kitett vas idővel szálkás szerkezetét szemcsésre változtatja át, mi által a sokat használt kocsitengelyek könnyen eltörnek. Ezzel összefügg a delejesség megváltozása, mechanikai erők befolyása által.

Ha a rudat a delejezés alatt megrendítjük, akkor delejessége sokkal erősebb lesz, mint ha nyugodtan delejeztetett volna.

Ha ellenben már kész delejt erősen megrendítünk, kalapács-ütés vagy az által, hogy leejtjük, delejessége nagy mértékben gyöngíttetik. Wiedemann a megrendítés sajátságos befolyását tapasztalta; ha ugyanis valamely rúd delejességét részben vagy egészben megrontjuk ellenkező delejezés által, akkor megrendítés által előbbi delejességének egy részét ismét visszanyeri. Ily módon nem-delejes rudat megrendítés által delejezhetünk.

E tünemények a molekulár delejelméletből könnyen megmagyarázhatók. A mint fönnebb láttuk a coercitiv erő, mely a molekülöket helyzetükben megtartani igyekszik: a delejezésnek ellentáll. De ép úgy, mint a mozgásban lévő test surlódása könnyebben legyőzhető, mint a nyugvó-é: a molekülöknek párhuzamos helyzetbe való fektetése könnyebb, ha megrendítés által mozgásba hozatnak, mint ha állandó helyzetükből kell a kivánt irányba fektetni.

A kész delejeknél pedig a molekülök nincsenek azon helyzetekben, melyeket csupán a molekularis erők befolyása által foglalnának el. Hogy ha tehát a molekülöket mozgásba hozzuk, úgy könnyebben engedve a molekularis erők befolyásainak, mint nyugvó helyzetben, eredeti helyzeteiket foglalják vissza.

A delejrúd delejességére feltünő befolyással van a sodrás, a mit ujabb időben Wertheim és Wiedemann részletesen tanulmányoztak. Kisérleteiből kitünik, hogy ha a delejes rudat egy irányban megsodorjuk: delejessége gyöngül, ha visszasodorjuk: delejességéből ismét keveset veszít. De ugyanazon irányban tett uj sodrások már csak igen csekély változást idéznek elő. Az ellenkező irányban való sodrás azonban ismét új tetemes gyöngítést okoz.

Ha a rúd a delejezés alatt például jobbra sodortatott, akkor ezen irányban való sodrás által delejessége először növekszik és azután csökken. De, ha a rúd a delejezés alatt ide-oda sodortatott, akkor mindkét irányban való sodrás által, egyenlő mértékben gyöngül felvett delejessége.

8. **A melegség befolyása a delejességre.** — A melegség befolyásának tanulmányozásánál, még gondosabban mint előbb, kell megkülönböztetnünk a delejezés alatti befolyást, a kész delejre gyakorolt befolyástól; mert e két állapotban a melegség befolyása lényegesen különböző.

A lágyvas delejezhető képessége bizonyos határig emelkedő mérséklettel növekedik. Kupffer megmutatta, hogy e növekedés 100 fok alatti mérsékváltozásnál is észrevehető már. Scoresby kisérletei szerint e növekedés az acélnál is egész a vörös izzásig észlelhető; delejtű

mellé különböző vasból és acélból készített rudak egymás mellé állítva, delejező hatásnak voltak kitéve, és megvizsgálta a rudak által létesített eltéréseket, ha azok hidegek és ha izzók voltak. Minden rúdnál az eltérítés nagyobb volt izzó állapotban, mind hidegben; de különböző rudaknál a növekedés különböző volt.

De Wiedemann megmutatta, hogy e kisérletet ugyanazon rúddal ismételni nem lehet, mert a növekedés a második hevítésnél már alig észlelhető. Továbbá megmutatta, hogy nem csak hevítés, hanem hűtés is ugyan e hatást szüli. Szóval, ha a molekülök mozgásváltozása idéztetik elő, a delejezés hatásosabb.

Ha a hevitést a vörös izzáson túl fokozzuk, a delejezhetőség ismét fogy; a fehér izzásnál a vas már épen nem delejezhető.

A delejes rúd, tehát az állandó delej, delejessége hevítés által majd állandóan gyöngül, majd csak addig, mig az emelkedett mérséklet tart.

Tetemes mérsékletnövekedés a delejességet tökéletesen és állandóan megsemmisiti; a mérséklet, melynél ez bekövetkezik, jóval alantabb van, mint az, melynél a vas delejezhető képességét elveszti. A magnesvaskő delejességét a vörös izzáson aluli mérsékletnél már tökéletesen veszti el, az acéldelej pedig már 400 fokon alul.

Ha a delejt nem oly tetemes mérsékletre hevítjük, akkor az ez által gyöngült delejessége ismét erősbödik, ha lehűl; azonban teljes erejét nem nyeri vissza. Ismételt hevitésnél az állandó veszteség mindinkább csekélyebb lesz, úgy hogy a delej csak azon időre gyöngül, mig emelkedett mérséklete tart.

Valamint a melegség a test delejes állapotára nagy befolyással van, úgy a delejesség a hőállapotot is megváltoztatja. A vas, delejezése valamint delejes állapotának megváltoztatása által megmelegszik. Joule kisérletei szerint a delejezésnél létesített melegség az ébresztett delejesség négyzetével arányos.

E melegség keletkezése a delejezésnél a fönnebbi hypothesisből könnyen megmagyarázható. Mert minden delejezés a molekülöknek egyensúlyhelyzetéből való elfordításából állván: e forgatással járó súrlódás hővé alakul. Ugyanez történik, ha a delejes test moleküljei visszahelyezkednek. Vagy pedig fölvehetjük, hogy a forgás után a molekülök rögtön meg nem állnak, hanem az új egyensúlyhelyzet körül rezegnek, mely rezgést, mint meleget észleljük.

A fény befolyását a delejességre illetőleg megjegyzendő, hogy Morichini után több physikus állitotta, hogy fény által delejezni lehet: de Moser és Riess gondos vizsgálataiból kiderült, hogy ezen állítás tévedésen alapszik, hogy t. i. a fény behatása által a test delejes állapota legkevésbbé sem változik meg.

MÁSODIK FEJEZET.

A delejes távolhatás törvénye.

1. A mióta az emberiség a természeti tünemények tanulmányozásával foglalkozik, mindenkor azon öntudattá vált érzet vezérelte, hogy e tünemények egyszerű törvények szerint mennek végbe. Ezen érzet a törvények felderítése által mindinkább megszilárdulván, vezérelvül szolgált a további kutatásnál; úgy hogy a legnagyobb nehézségek által meghiusított kutatások eredménytelensége sem volt képes a buvárokat e kitüzött cél felé vezető úttól eltéríteni.

A többi között láttuk mennyi eredménytelen munka után, az éles elme mily kifáradhatatlan működése által, sikerült csak a fénytörés törvényeinek felderítése: ehhez majdnem egészen hasonló módon, ugyan ily fáradságos mérések, ily bonyolódott combinatiók vezettek azon csodálatos egyszerűségü törvényre, mely szerint a delejes hatás a távolsággal fogy.

Az első, ki e törvény felderítéséhez fogott Hawksbee volt, a 18-dik század elején. A delej hatásának nagyságát akkép határozta meg, hogy megfigyelte a delejtű eltérítését, melyet valamely delej különböző távolságokból okoz. E célra négy lábnyi sugárral képezett negyedkör középpontjába egy lehetőleg könnyen forgatható delejtűt állított, mely nyugváskor az osztályzat zerus pontjára mutatott. Egy 6 fontos, szabálytalan alakú delejt akkép állított egy deszkára, hogy sarkai a tű és a kör síkjába essenek. Erre a tű eltérítéseit a delej különböző távolságainál gondosan feljegyezte. E mérések adatai azonban semmiféle szabályosságot nem mutatnak.

A legfőbb kifogás, melyet e mérések ellen tettek, az volt, hogy itt a delej távolságát a tűtől nem lehet pontosan megmérni. Azért a londoni tudományos társaság Brook Taylor-t bizta meg e mérések pontosabb végrehajtásával. Taylor e célra a társulat legnagyobb magnesét használta, és azt akkép vezette a tűhöz, hogy a sarkait összekötő egyenes a tű természetes fekvésére merőleges volt. E mód ellen Whiston azon alapos ellenvetést tette, hogy a tű eltérítése által elfoglalt különböző irányú fekvéseit is tekintetbe kellett volna venni, hogy pontos eredményeket nyerjünk. De Whiston mérései — melyeknél a delejt mindig úgy közelítte a tűhöz, hogy a sarkokat összekötő egyenes az eltérített tű irányára merőleges legyen — sem vezettek határozott törvényre.

Musschenbroek figyelmeztetett arra, hogy az eddigi méréseknél tulajdonképen nem a delejes vonzást mérték meg, hanem két vonzás és két taszítás együttes hatását. A delej valamint a tű mindkét sarka ugyanis kölcsönösen hat egymásra. Továbbá figyelmeztetett arra is, hogy azon erő, mely a tűt nyugvó helyzetébe hozza, nagyobbodik az eltérítés nagyságával. Tehát addig, mig e körülmények kellő figyelembe nem vétetnek, helyes eredményt várni nem lehet.

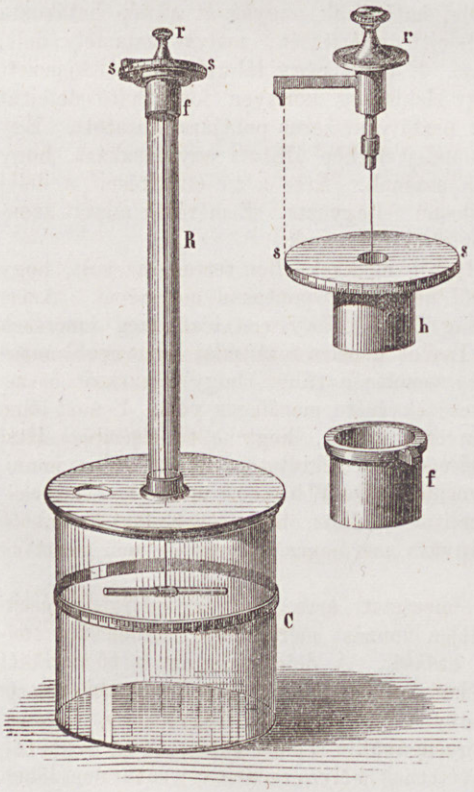
Newton is tett kisérleteket a vonzás törvényének meghatározására, de csak az eredményt közölte; ugyanis hogy a delejtű eltérítése majdnem a delej távolságának köbével kisebbedik.

2. **Coulomb sodrati mérlege.** — Coulomb módot talált a Musschenbroek által tett mindkét rendbeli ellenvetést tökéletes kikerülésére.

Mindenek előtt meghatározta, hogy azon erő, mely a tűt állandó helyzetébe igyekszik visszavezetni, mikép változik az eltérítéssel; azután ezen erővel mérte a delejek vonzó hatását. Sodrati mérlege, melylyel e méréseket nagy pontossággal lehetett végrehajtani, a fonalaknak a sodrás ellen kifejlődő ruganyosságán alapszik. Ezen ellentálló erőt használta fel Coulomb a delejes hatás meghatározására.

Készüléke legegyszerűbb alakját a 251. ábra mutatja. A C üveghenger felső része üveglappal van fedve, mely lap a henger tengelyének irányában van átlyukasztva. E nyilásba egy üvegcső van erősítve, melynek tengelyében vékony ezüst- vagy rézhuzal foglaltatik, mely a henger közepéig ér. A huzal az *ss* rézlemez közepébe illesztett *r* gombra van erősítve, miként a mellékábrában látható; alsó vége kis réztokot tart, melybe a delejrúd tétetik, úgy hogy ez csak vízszintes síkban forogható. Az *r* gomb akkép van az *ss* lemezbe illesztve, hogy azt az R cső tengelye körül lehessen forgatni. Az *ss* rézlemez oldallapja fokokra van beosztva, mely osztályzatra az *r* gombbal összekötött mutató van beállítva. A rézlemez a *h* rézcsővel áll kapcsolatban, mely az R cső *f* réztokjában gyenge surlódással forgatható; e forgás nagyságát a tokra erősített, szintén az osztályzatra mutató, jelző mutatja.

251. ábra.



A C üveghenger körül azon magasságban, melyben a delej függ, szintén fokokra beosztott osztályzat van illesztve, melylyel a

delej fekvését, vagyis azon szöget, melyet a meridiánnal képez, meg lehet határozni.

A készüléket mindenek előtt akkép kell beállítani, hogy a huzal legkevésbbé se legyen megsodorva, ha a delej a meridiánban van. Ezt elérjük az által, ha a delejt nemdelejes rúddal helyettesítjük, és a gombot addig forgatjuk, míg e rúd a delejes meridiánban marad nyugvásban. Ha már most a réztokba delejt teszünk, ezt két erő tartja meg a meridiánban, a föld irányító hatása, és a huzal, melyet meg kell sodorni, ha a delejt e helyzetéből ki akarjuk hozni.

3. **A föld irányító hatása.** — Azon erőt, mely vízszintes síkban szabadon forgó delejtűt állandó fekvésében megtart, illetőleg ebbe visszaterelni igyekszik, a föld hatásának tulajdonítván, egyelőre a föld irányító hatásának nevezzük. Tegyük fel, hogy a sodrati mérleg deleje ezen fekvésben, a delejes meridiánban, nyugszik.

Ha az r gombot forgatjuk, akkor a rúd teljesen követné forgását, ha nem volna delejes; a delejes rudat azonban a föld irányító hatása visszatartani törekszik; e két erő hatása alatt tehát a rúd oly középhelyzetet fog elfoglalni, mely a két erő viszonyától függ. Ha a gombot r szöggel forgatjuk, akkor a delej oly helyzetben jön nyugalomba, melyben a meridiánnal például d szöget képez, s így a huzal $r-d$ szöggel van megsodorva. S minthogy egyensúly van, a huzal ruganyosságának forgató nyomatéka egyenlő a delejre ható irányító erő forgató nyomatékával.

Minthogy a sodrás elleni ruganyosság arányos azon szöggel, melylyel a fonal sodortatott, azért az egy foknyi sodrásnak megfelelő nyomatékot $T-t$ szoroznunk kell a fokok számával ($r-d$-vel), hogy a ruganyosság nyomatékat megnyerjük. Hogy ha tehát a föld irányító erejének nyomatékat M-mel jelöljük, lesz

$$F(r-d) = M$$

Ha a huzalt más r' szöggel forgatjuk, és azon szög, melyet a delej az egyensúly helyreálltával a meridiánnal képez d', ezen esetre

$$T(r'-d') = M'$$

ha M'-el jelöljük a föld irányító erejének nyomatékát, midőn e delej d' szöggel tér el a meridiántól.

E két egyenletből következik, hogy

$$\frac{M}{M'} = \frac{r-d}{r'-d'}$$

vagyis azon nyomatékok, melyek a delejt a meridiánba visszavezetik, arányosak azon szögekkel, melyekkel a huzalt el kell sodorni, hogy a delej az illető helyzetekbe jöjjön.

Ha $r-d$ és $r'-d'$ szögeket a d és d' szögekkel összehasonlítjuk, azt találjuk, hogy

$$r-d : r'-d' = \sin d : \sin d'$$

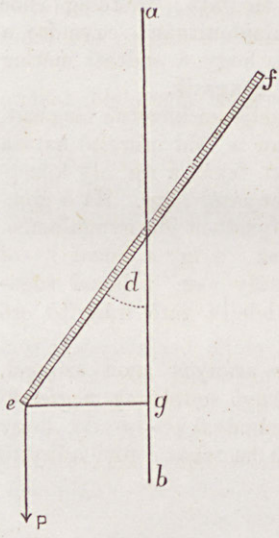
tehát hogy

$$M : M' = \sin d : \sin d'$$

vagy, hogy azon nyomatékok, melyek a delejt a meridiánba visszavezetik, arányosak azon szögek szinusaival, melyekkel a delej a meridiántól eltér.

Ebből következtetjük, hogy azon erő, mely a delejt a meridiánba visszavezetni törekszik, a meridiánnal párhuzamosan működik. Mert ezen esetben arányos a delej nyomatéka az eltérő szög szinusával, a mit könnyen belátunk, ha elképzeljük, hogy ab a delejes meridian (252. ábra), és cf az eltérített delej, mely, ha rá ab-vel párhuzamos P erő működik, P . eg nyomatékkal bír. Mivel a forgató nyomatékot megkapjuk, ha az erőt, a tengelytől a forgás síkjában vett távolságával szorozzuk; eg pedig d szög szinusával arányos. Ugyanez áll a delej másik sarkára nézve.

252. ábra.



E szerint valamely delejes rúd északi felének minden pontjára oly erő működik, mely azt az északi sark felé vonzza; déli felére pedig a déli sark felé irányított erők működnek. E párhuzamos erőknek az erők középpontjában működő eredőjök van, mely azokat minden tekintetben helyettesítheti. E két ellenkező irányú erő a rudat forgatni törekszik. A párhuzamos erők középpontjai, vagyis a két eredő támadó pontjai, képezik tulajdonképen a sarkokat.

Az így értelmezett sarkok természetesen nincsenek a rúd végein, a hol a szabad delejesség legerősebb, hanem benső pontokban, melyek helyzete a rúd delejességének szétoszlásától függ.

4. **A delejes vonzás és taszítás törvénye.** — E törvény meghatározására Coulomb oly hosszú tűt és delejes rudat használt, hogy a két egymáshoz közelített sark hatása mellett a másik két sark hatását el lehetett hanyagolni.

Az egyik kisérletnél a sodrati mérleg réztokjába tett delejtű 24 hüvelyk hosszú és $^1/_2$ vonal átmérőjü volt. Előleges kisérlet által meghatározta, hogy 35 foknyi sodrás a delejt 1 fokkal téríti el a meridiántól. Erre egy második delejrudat függélyes irányban bocsátott a hengerbe, és pedig úgy, hogy a lefelé irányított sark a vízszintes rúd azon sarkát, melyhez közelíttetett, taszította. A vízszintes delej oly helyzetben jött nyugvásba, melyben 24 foknyi szöget képezett a meridiannal.

A függő rúd e helyzetében két erő igyekszik azt a delejes meridiánba fektetni: a föld irányító hatása és a huzal 24 foknyi sodrásából fejlődő ruganyosság. A föld irányító hatása egy fok eltérítésnél 35 foknyi sodrásnak felel meg, tehát 24 foknyi eltérítésnél

ezen erő $24.35 = 840$ foknyi sodrásnak felel meg, ehez adva a 24 fokot, melylyel a fonal valóban megsodortatott, nyerjük az összes erőt, mely 864 foknyi sodrásnak felel meg.

Erre a huzalt akkép sodorta, hogy a vízszintes delej az őt taszító sarkhoz közeledett. 3-szor 360, vagyis 1080 foknyi sodrás által a delej 17 fokig közeledett a meridianhoz. Ezután a fonalat még 5-ször 360 fokkal sodorta, úgy hogy az összes sodrás 2880 fok volt. Ez által a vízszintes delej a függélyeshez 12 fokig közeledett.

A második állásban a föld hatása $17 . 35 = 595$ foknyi sodrásnak felelt meg, ehez adva a fonal sodrását $1080 + 17 = 1097$ fokot, nyerjük azon erőt, melylyel a rúd a meridiánba vonzatik, és melylyel a függélyes delej taszító ereje egyensúlyt tart; e taszító erő tehát 1682 foknyi sodrásnak felel meg.

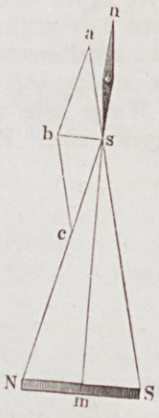
Ily módon nyerjük a harmadik helyzetnek megfelelő taszító erőt, mely 3312 foknyi sodrati erővel egyenlő.

E kisérleteknél az egymást taszító sarkok távolságai oly arányban vannak, mint $24 : 17 : 12$, a taszító erők pedig, mint $864 : 1692 : 3312$, mely utóbbi számok igen közel az elsők négyzeteivel fordított arányban vannak.

Ilynemű számos kisérletből világosan volt látható, hogy a delejes hatás visszás arányban van a távolság négyzetével.

5. A delejrúd teljes hatása. — Az előbb bebizonyított törvény csupán a vonzásra vagy taszításra vonatkozik. De ha a rúd mindkét sarka hat a delejtűre, akkor a hatás más törvény szerint változik a távolsággal. Az előbbi eset abban különbözik ettől, hogy ott a két delej távolsága kicsiny volt a delejek hoszszához képest, mig itt a delejek hoszsza csekély, távolságaikhoz képest. Ez utóbbi esetben a hatás a távolság harmadik hatványával fogy.

253. ábra.



A mint láttuk, ezen törvényt keresték Coulomb elődei, kik közül Newton azt valóban meg is találta. Gauss megmutatta, hogy e törvény a Coulomb-féle törvény szükségképi következménye; vagyis, ha a delejes taszítás és vonzás a távolság négyzetével arányos, akkor a rúd teljes hatásának a távolság köbével kell fogynia.

Azon külön esetben, melyben a delejtű és a rúd egymásra merőlegesen egy vízszintes síkban fekszenek, a törvény helyessége könnyen belátható. Itt két eset van, először, ha a delejtű meghosszabbítása a rúd középpontját éri, és másodszor, ha a rúd meghosszabbítása a delejtű középpontjába esik. Vizsgáljuk csak az első esetet. A rúd (253. ábra) S sarka a tű s sarkát taszítja és pedig az sa irányban. Jelöljük q-val azon erőt, melylyel a két sark egymást a távolság egységében taszítja, akkor $\frac{q}{r^2}$ azon taszító erő, melylyel

az $Ss = r$ távolságban egymásra hatnak; ezen erő nagyságát az sa vonal által ábrázolhatjuk.

Az N sark ép oly erővel vonzza s-et, mint a melylyel s taszítja; ezen erőt tehát $sc = sa$ vonallal ábrázolhatjuk. Az sc és sa erők eredője sb lesz. Az NSs és bsa hasonló háromszögekből

$$Ss : SN = as : bs$$

vagy pedig az értékeket helyettesítve

$$r : 2l = \frac{q}{r^2} : f$$

ha l-el a rúd fél hoszszát, és f-el a bs eredőt jelöljük, mely a rúdnak az s sarkra gyakorolt teljes hatása. Ezen arányból

$$f = \frac{2lq}{r^3}.$$

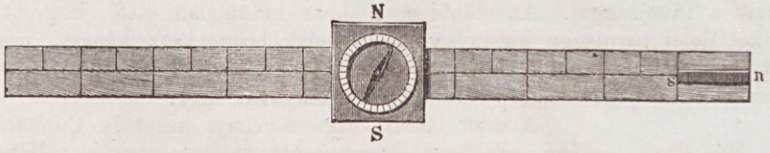
Ha l igen kicsiny r-hez képest, sm helyett r-et tekinthetjük a két delej távolságának.

Tehát látjuk, hogy ha a taszítás és vonzás a távolság négyzetével visszás arányban van, akkor a delej teljes hatása valamely sarkra a távolság harmadik hatványával van visszás arányban.

A bs eredő irányából pedig látjuk, hogy a rúd ezen esetben a tűt saját irányával párhuzamosan igyekszik fektetni.

E törvényt kisérletileg legegyszerűbben Weber módszere szerint bizonyítjuk be. Egy delejtű, mely fokokra felosztott körön mutatja eltérését az NS meridiántól, (254. ábra) deciméterekre felosztott, körül-

254. ábra.



belül 1 méter hosszú farúd közepére van erősítve. Az egyik eset megvizsgálására az osztályzott rudat a delejes meridiánba helyezzük; a másik esetben pedig reá merőlegesen. E kisérletekre alkalmazott ns delejrúd 1 deciméter hosszú. A mint az ábra mutatja, középpontjának távolsága a delejtű középpontjától 4·5 deciméter. Weber még a 3·5 és a 3 deciméter távolságból okozott eltérést figyelte meg. E távolságoknál az eltérítések voltak:

4·5	deciméternél	$11^0\ 24'$	$= 684'$
3·5	„	$23\ 29$	$= 1\,409$
3	„	$35\ 17$	$= 2\,117$

s minthogy

$$\frac{(4{\cdot}5)^3}{(3{\cdot}5)^3} = \frac{1409}{648} = 2{\cdot}1 \quad \text{és}$$

$$\frac{(3{\cdot}5)^3}{3^3} = \frac{2117}{1409} = 1{\cdot}5$$

látni való, hogy a nyert értékek a fönt levezetett törvényt igazolják.

Igen természetes, hogy az eltérések a delejrúd delejességétől függnek; ha ez erősebben lett volna megdelejezve, az eltérések nagyobbak lettek volna, de mindig a távolságok harmadik hatványával fordított arányban.

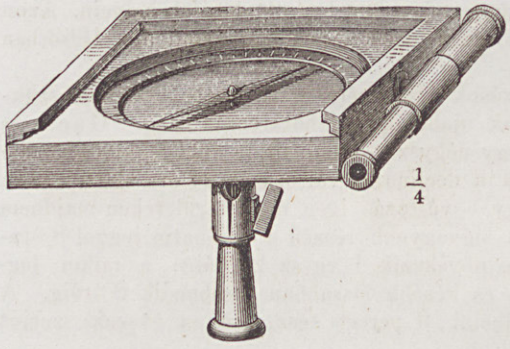
HARMADIK FEJEZET.

Az elhajlás és lehajlás.

1. **A delejtű elhajlása.** — A 16-dik század első tizedeibe esik azon felfedezés, hogy a delejtű nem mutat épen északra és délre, hanem iránya ettől valamivel eltér; azaz a tű nem az astronomiai meridiánban fekszik, hanem tőle eltér, vele szöget képez. A mint e tény megállapítására a tű irányát pontosan meghatározták, kitünt az is, hogy az elhajlás vagy a declinatio szöge különböző helyeken különböző.

Az elhajlás pontos meghatározására különböző készülékeket szerkesztettek; a legegyszerűbbek egyikét a 255. ábra mutatja. A delejtű jól csiszolt acélhegyre van állítva, mely pontosan beosztott vízszintes kör középpontját képezi. E kör függélyes tengely körül saját síkjában forgatható. A készülék oldalához egy távcső van erősítve, melynek tengelye azon vonallal párhuzamos, mely az osztályzat zerus pontját és a 180-nal jelöltet összeköti. A szerint a mint a vízszintes síkot forgatjuk, a delejtű más-más osztóvonalra mutat. Ha a készüléket akkép állítjuk, hogy a tű épen zerusra mutasson, akkor a tű tengelye a távcső tengelyével párhuzamos, tehát az utóbbi is a delejes meridianban van. Minden más állásnál a tű azon fokok számát mutatja, a mennyivel a távcső tengelyéhez hajlik. Ismervén az astronomiai meridian irányát, a készüléket addig forgatjuk, mig a távcső tengelye ezen irányba esik; ekkor a delejtű közvetetlenül megmutatja, hogy ettől hány fokkal tér el.

255. ábra.



A föld különböző helyein tett pontos mérések azt mutatták, hogy az elhajlás szöge igen különböző, sőt nem is egyirányú: némely helyen a tű nyugotra, némelyen keletre tér el. Az eltérésekben bizonyos szabályszerűséget keresendők, följegyezték azon helyeket, melyeken az

eltérések egyenlők. Ha e helyeket összekötjük, akkor az egész föld körül vezető görbéket nyerünk, melyek a föld sarkain keresztül mennek. Ezek isogon vonalaknak neveztetnek. Ezen vonalak között van egy, melyen eltérések nincsenek, tehát, melyen a tű épen északra és délre mutat.

A delejtű iránya még ugyanazon helyen sem marad állandó. Az elhajlás szöge ugyanazon helyen változik évről évre, napról napra, sőt óráról órára is. Igy például Párisban 1580 óta tett észleletek azt mutatják, hogy akkoriban a delejtű kelet felé tért el a geographiai meridiantól, 1663-ban pedig a zerus ponton áthaladva, mostanáig nyugatra tér el. A nyugati eltérés e század elejéig növekedett, azóta pedig mindig kisebbedik, a mint a következő számadatok mutatják:

Év	Eltérés	
1580	11° 30′	keleti
1663	0 00	
1678	1 30	nyugoti
1814	22 34	maximum
1816	22 25	
1818	22 22	
1850	20 31	
1864	18 58	

Ilyen változások észleltettek a föld legkülönbözőbb helyein. Azon vonal, melyen declinatio nincs, most Amerikán halad át, 1663-ban Parison ment keresztül.

Az oránkénti változások észlelésére igen pontos eszközök szükségesek, azért ezeket csak ujabb időben határozták meg. Gauss és Weber kieszközölték, hogy négyszer évenként, a föld legkülönbözőbb helyein, egyszerre észlelik a declinatio változását 24 óra alatt. Ezen észleletekből kitünik, hogy e változás igen nagy területeken majdnem teljesen egyenlő. Európa legnagyobb részén a declinatio reggel 8 órakor a legkisebb; gyorsan növekszik 1 egész 2 óráig, a mikor legnagyobb; ezután gyorsan és később lassabban kisebbedik 8 óráig. A naponkénti eltérés körülbelül 9 percet tesz, de az évszak szerint különböző.

Ezeken kivül még rögtöni változások, háborgások is mutatkoznak. E háborgások északi fény megjelenésekor, földrengések és vulkanikus kitörések alkalmával mutatkoznak.

2. **A delejtű lehajlása.** — Norman Robert 1576-ban Londonban azon nevezetes fölfedezést tette, hogy a súlypontjában vízszintes tengelylyel alátámasztott delej nem marad vízszintes helyzetben, hanem északi sarkával lefelé hajlik.

Azon szög, melyet a tű a vízszintessel képez, ha a delejes meridianban forog (tehát ha tengelye e meridianra merőleges) a lehajlás vagy az inclinatio szögének neveztetik.

E szög ép oly változásoknak van alávetve, mint a declinatio szöge. Az egyenlítő körül találunk oly helyeket, melyeken a lehajlás

szöge zerus. E helyektől északra e szög általában nagyobbodik, mig az északi sarkhoz közel lévő pontnál 90 fokot tesz. E helyektől délre a tű ellenkező irányban tér el a vízszintestől, és ezen értelemben növekszik 90 fokig. Azon helyeket összekötő görbe, melyeken az inclinatio egyenlő, isoclin vonalnak neveztetik.

Az inclinatio szöge az idővel oly módon változik, mint a declinatio szöge. Igy például a Párisban feljegyzett értékek ezek.

Év	Inclinatio
1671	75° 00′
1775	72 15
1820	68 20
1864	66 03

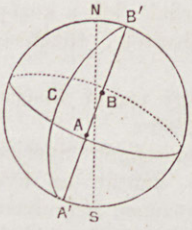
Úgy látszik, hogy jelenleg az inclinatio szöge egész Európában kisebbedik. A napi változások valamint a háborgások hasonlók a declinatioéhoz.

3. **Elmélet.** — A delejtűk irányainak és ezen irányok változásainak magyarázatára több hypothesiseket állítottak fel, melyek azonban a pontosabb adatok által megdöntettek. A változások kellő magyarázata még most is nyilt kérdés, azonban a tények némileg összefoglalhatók a következő elmélet által.

A földnek van delejes hatása, e hatása olyan, mintha középpontjánál aránylag rövid delej volna elhelyezve, melynek sarkait összekötő egyenese közel a föld sarkai felé van irányítva. E delej fekvését bizonyos határok között folytonosan változtatja.

E hypothesisből az inclinatio, a declinatio és a fönt említett vonalak létezése szükségkép következik. Legyen ugyanis AB (256. ábra) azon képzelt delej, a középpontján rá merőlegesen fektetett sík a földet egy legnagyobb körben metszi, és ez lesz a delejes egyenlítő. E kör minden pontján a delejtű vízszintes, és az AB delej tengelyével párhuzamos lesz, de a körvonalra merőleges.

256. ábra.



A delejes egyenlítőhöz párhuzamosan vont köröket delejes párhuzamosaknak nevezhetjük. A symmetria következtében egy-egy párhuzamos körben a tű lehajlása egyenlő lesz. Ezek tehát az isoclin vonalak.

Az AB delej tengelyének meghosszabbodása a földgömböt két pontban metszi, A′ és B′-ben; ezek a delejes egyenlítő sarkai. E pontokban az A és B delejsarkok által gyakorolt hatás függélyesen működik; ennélfogva itt az inclinatio szöge 90 fok lesz; a declinatio tűre pedig irányító erő nem működik. Tehát a delejtű a delejes sarkoknál már nem mutat határozott irányt.

A delejes tengelyen át fektetett síkok a földgömböt legnagyobb körökben metszik, a minő A′CB′; ezek a delejes meridianok. A

delejes meridian adja meg a tű irányát valamely helyen; és azon szög, melyet a geographiai meridiannal képez, adja a declinatio szögét.

Azon delejes meridian, mely az A'B'-n és NS-n átfektetett síkból származik, összeesik a geographiai meridiannal. E vonal hoszszában tehát a declinatio semmi.

MÁSODIK SZAKASZ.

A statikai villámosság.

ELSŐ FEJEZET.

A statikai villámosság alaptüneményei.

I. A villámos vonzás és taszítás.

A görögök közül Theophrast, a rómaiaknál Plinius említik a borostyankő azon tulajdonságát, hogy miután megdörzsöltetett, könnyü testeket magához vonz. De úgy látszik, hogy a régiek ennek nem tulajdonítottak nagyobb fontosságot, mint a mennyit valamely test sajátos alakjának vagy szinének tulajdonítani szoktunk. A borostyankő e különös tulajdonságát, e test egyéb tulajdonságaihoz sorozták.

A borostyánkő görög neve, elektron, az elektricitás szóra vezetett, melylyel e vonzó-hatást jelölték.

Csak 1600-ban fedezte fel Gilbert, Londonban, hogy más testek is mutatják az elektricitás tulajdonságát; hogy üveg, pecsétviasz s több más test is vonz magához, mindennemű könnyü testeket, miután selyemmel, gyapottal vagy más ilynemű testtel dörzsöltettek. A különböző testek e tulajdonságainak megjelölésére megtartották az elektricitás szót. A magyarban villámosságot is használunk.

Gilbert felfedezése óta majdnem mind azon férfiak, kik a középkor végén a tudományokat általában új életre keltették, tüzetesen foglalkoztak e tárgygyal.

Igy mindenek előtt Guericke és Boyle nagy számú kisérleteket tettek az elektricitás tulajdonságainak felderítésére.

Hogy gyors dörzsölés által nagyobb villamosságot nyerjen, Guericke egy üveggolyóban ként megolvasztott, és azután az üveget letörte; ezáltal kéngolyót nyert. E golyót a középen átlyukasztotta, és e nyilásba vastengelyt erősített, úgy hogy a golyót forgatógép segitségével gyors forgásba hozhatta. Ha forgás közben a kéz egész felületével a golyót érintette, akkor a golyó erős villamosságot nyert.

Guericke e gépével igen nevezetes észleleteket tett, melyek közül a legfontosabb az, hogy a villamos test által vonzott könnyü test

azonnal ellöketik, a mint a villámos testtel érintkezett; ez után távol tartózkodik mindaddig, mig más testtel nem érintkezett. Igy a golyó által előbb vonzott pehely, ismét eltaszíttatván, egy ideig a golyó körül lengett; de azonnal a golyóhoz röpült, ha a kézzel megérintették.

Guericke továbbá leírja, hogy golyója a dörzsölés közt, vagy ha a dörzsölés után valami testet hozzá közelített, percegést hallatszott, mialatt sötétben olynemű fény mutatkozott, mint mikor cukrot eltörünk.

Boyle ezen eredményeket igazolja, és még más oly körülményekre figyelmeztet, melyekre alább visszatérünk.

I. A villámos fény.

Egy, 1675-ben véletlenül észlelt tünemény a villámos kisérleteknek más irányt adott. Ugyanis ekkor Picard, midőn barométerét éjjel más helyre függesztette, azt tapasztalta, hogy a higany mozgása által a Torricelli-féle ürben szikrázó világosság keletkezik. E tünemény oly feltünést okozott, hogy a tudósok nagy száma azonnal ily világító barométerek előállításán fáradt, s miután ez soknak sikerült, e különös tüneményt a legkülönbözőbb módon igyekezték megmagyarázni.

Az első, ki határozottan állította, hogy e tünemény villámos tünemény, és ezt teljesen be is bizonyította, az angol Howsksbee volt. Ő megmutatta, hogy az üveg egyáltalában nagy mennyiségü villámosságot képes fejleszteni, mely villámosság légritkított térben igen feltünő és gyönyörű fénytüneményeket mutat. Legnevezetesebb kisérlete a következő. Egy 9 hüvelyk átmérőjü üveglombikból a levegőt légszivattyúval kiszivattyuzta, és azután forgató gépre erősítve, gyors forgásba hozta. Ha kezét a forgó lombikra tette, akkor rövid idő alatt oly erős fény keletkezett, hogy mellette olvasni képes volt, és 10 láb távolságban lévő tárgyakat megismert. A fény biborvörös színü volt. Azon mértékben, melyben a levegőt a lombikba bocsátotta, a fény elgyengült, de száraz környezetnél akkor sem szünt meg egészen, mikor a belső levegő a külsővel közlekedett. Ilyen körülmény között a lombikhoz közelített testbe gyakran egy hüvelyk távolságra, gyönge csattanás kiséretében, pillanatnyi szikra látszott átcsapni, mely élénken, de csak 2 hüvelyk távolságra világított. Ilyen szikrákat már előbb Wall is észlelt, melyeket nagyobb borostyánkődarab dörzsölése által állított elő.

Ilyen villámos fény kisebb mértékben, bármily légritkított üvegedényben keletkezik, akár külső, akár belső dörzsölés által. Ennélfogva világos, hogy Picard barométerjében a higanynak az üveghez való dörzsölése által keletkezett villámosság fénylett.

Howksbee az üvegen kivül több testet is vizsgált meg azon célból, hogy az általuk nyerhető villámosságot megbecsülhesse. Azonban a fémeket sehogy sem tudta villámos állapotba hozni. Ő azt

hitte, hogy ezt keménységük, erősebben összetartó erejük okozza; és azt állította, hogy erősebb dörzsölés által ezek villámosakká válnának. A testek e különbözőségének helyes megmagyarázása Gray-nak volt föntartva.

II. Vezetők és szigetelők.

Gray 1729-ben hosszú és tágas üvegcsővel folytatta már rég megkezdett villámos kisérleteit. Hogy a cső belsejét a por el ne lepje, mindkét végén parafadugóval elzárta. De mielőtt a bedugaszolt csővel folytatta kisérleteit, meg akart győződni arról, hogy a cső villámos tulajdonsága — mely alatt akkor csak a vonzást és taszitást értették — nem változik-e a bedugaszolás által. A cső változást nem mutatott. Azonban egy ily kisérletnél megesett, hogy a cső végéhez közelített pehely a parafához repült, és tőle ismét eltaszittatott. Erre a pelyhet a dugasz lapos felületéhez tartotta, mely az üvegtől távolabb volt, mind oldalfelülete; ez vonzotta a pelyhet.

E feltünő tünemény vizsgálatainak más irányt adott. Mindenek előtt megvizsgálta, hogy más oly test, mely dörzsölés által nem lesz villámos, ily módon felveszi-e ezen tulajdonságot; és hogy nagyobb távolságra is közölhető-e a villámosság. — Egy, körülbelül 4 hüvelyk hosszú fapálcára elefántcsontgolyót erősített, és a pálca másik végét a parafadugóba erősítette. Miután az üveget dörzsölte, az elefántcsontgolyó még nagyobb mértékben vonzotta a pelyhet, mint a parafa. Ugyanezen eredményt találta, midőn a golyót hosszú réz- vagy vasdrótra erősítette. Erre a parafadugóra hosszú zsinort erősített, és a szabadon lógó zsinórra különböző testeket függesztett; e testek mindegyike villámos lett. Miután elég magas helyiséggel nem rendelkezett, hogy a villámosságot ily módon nagyobb távolságra vezethesse, azért erősebb kötelet vízszintesen vezetett oly módon, hogy helyenként szélesebb szalaggal a födélzethez erősítette. E kisérlet igen nevezetes fölfedezéshez vezetett, melyet Gray eleinte nem is gyanított.

A zsinor vízszintesen csüngött, és csak a vége, melyhez az elefántcsontgolyó volt erősítve, függött függélyesen lefelé. A csövet erősen dörzsölte, de a golyó a villámosság nyomát sem mutatta. Gray azonnal felismerte, hogy, valamint a zsinor a golyóhoz, úgy a szalagok a födélzethez vezetik a villámosságot; de ez utóbbit elkerülni nem volt képes.

Később Wheeler-rel e kisérleteket ismételte; Wheeler azon gondolatra jött, hogy talán a kisérlet sikerülne, ha a kötelet vékony zsinórokkal, nem pedig széles szalagokkal erősítenék a födélzethez; ekkor, úgy vélekedtek, csak kevés villámosság mehet a födélzethez, mig a vastag kötélen át a golyóhoz nagyobb mennyiségü villamosság juthat. Minthogy azonban a vékony zsinorok könnyen elszakadhattak volna, különösen a dörzsölés alatt előidézett ráncigálás által, célszerűnek tartották selyem-zsinorokat alkalmazni. — Nagy meglepetésükre az elefantcsontgolyó ép oly erős villamosságot mutatott,

mint mikor rövidebb szálon szabadon csüggött. Ezután két egész háromszáz láb hosszú, többször ide-oda vezetett kötelekkel ismételték kísérleteiket.

Egy ily kísérletnél megesett, hogy a nagy teher alatt a selyemzsinórok egyike elszakadt. Miután ezt ép oly vékony rézdróttal helyettesítették, nagy meglepetésükre azt látták, hogy a golyó nem mutat villámosságot, tehát, hogy a vékony rézdrót ép oly tökéletesen elvezette a villámosságot, mint a széles szalagok. Ebből látható volt, hogy a selyemzsinórok nem vékonyságuk miatt voltak alkalmasak, hanem azért, mert selyemből és nem más anyagból állottak. Nem sokára ezután kiderült, hogy a haj, a gyanták, az üveg és más testek sem vezetik a villámosságot; és általában, hogy azon testek, melyek dörzsölés által villámosak lesznek, a villámosságot nem vezetik. Ezáltal sikerült különböző testeket villámozni, mint nagy mappákat, asztalkendőket s többeket.

Különös feltünést okozott az emberi testnek villámozása. Gray 1730-ban egy gyermeket vízszintesen selyemszalagokra függesztett; a lábával közlött villámosság az egész testen elterjedt, úgy hogy a gyermek feje könnyü fémlemezeket 8—10 hüvelyk távolságból élénken magához vonzott. Később gyermekeket vagy felnőtt személyt is gyanta lepényre állítottak, és az eredmény ugyanaz volt.

Du Fay később erősebb villámozásnál azt tapasztalta, hogy a villámozott ember minden részéből egy hüvelyknyire közelített testhez szikrák csapnak át. Ő leírja, hogy midőn magát megvillámozta és más valaki kezével szikrákat csalt ki testéből, mindketten az illető helyen gyenge szúrást éreztek. Sötétben pedig a percegés tűzszikráknak mutatkozott. Nollet, ki du Fay kísérleteinél többnyire jelen volt, írja, hogy a hatás, melyet rájuk az emberi testből nyert első tűzszikra látása gyakorolt, rendkivüli volt.

Du Fay kifejezte azon véleményét is, hogy sikerülend majd könnyen gyulékony testeket a villámszikra által meggyujtani; de neki sehogy sem sikerült. E felfedezés a németeknek volt fönntartva.

Desaguliert 1741-ben több értekezést tett közzé a villámosságról, melyek főbb eredménye a következő megkülönböztetésben áll:

A dörzsölés által villámossá váló testek, villámos testtel való érintés által, nem egész kiterjedésükben lesznek villámosak, hanem csak a megérintett hely körül. Ép ily módon vesztik is el már meglévő villámosságukat. A többi testeken ellenben a közlött villámosság rögtön szétterjed; és érintés által egész villámosságukat el is vesztik. Ez utóbbiak tehát a villámosság vezetésére alkalmasak, és azért vezetők-nek nevezte. Mig az elsők a vezetők elszigetelésére lévén alkalmasak, szigetelők-nek nevezte.

Közel feküdt ezek után a gondolat, hogy a fémek dörzsölés által csak azért nem válnak villámosakká, mert a bennök ébresztett villámosságot azonnal elvezetjük. És csakugyan sikerült is minden vezetőt dörzsölés által villámozni, ha a dörzsölés alatt a kéztől el volt szigetelve. — Ha ehez még hozzá teszszük, hogy egy test sem szigetel

tökéletesen, hanem a legvillámosabb testek is többé-kevésbbé vezetik a villámosságot, hogy ugyanazon test különböző hallmazállapotában majd szigetelőnek, majd vezetőnek használható: akkor az eddigi vizsgálatok eredményeit a következő principiumba foglalhatjuk:

a vezető és szigetelő testek között lényeges különbség nincs. Minden test dörzsölés által villámossá válik, csakhogy némelyek e villámosságot könnyen elvezetik, mig mások csak igen nehezen.

Tájékoztatásul a gyakoribb anyagokat vezető-képességük szerint rendezzük.

Fogyó vezető-képességük szerint rendezett anyagok.

Vezetők.		
A fémek	Víz	Láng
Faszén	Hó	Vízgőz
Graphit	Élő növények	Len
Savak	„ állati részek	Gyapot.
Félvezetők.		
Alkohol	Kénvirág	Papiros
Aether	Száraz fa	Szalma
Üvegpor	Márvány	Jég 0°-nál.
Szigetelők.		
Száraz fémoxydok	Kamphor	Szőr
Zsiros olajok	Illó olajok	Selyem
Hamu	Porcellán	Drága-kövek
Jég —25°-nál	Száraz növényrészek	Csillám
Phosphor	Bőr	Üveg
Mész	Pergament	Viasz
Kréta	Száraz papiros	Kén
Lycopodium	Toll	Borostyán-kő
Kautsuk	Haj	Schellak

III. A villámosság két neme.

Du Fay-t következő kisérlete egy fontos elv fölfedezésére vezette: miután egy villámozott üvegrúddal aranylemezkét lebegésben tartott, hozzá villámozott gummidarabot közelített, mely nagy meglepetésére a lemezt, nem hogy eltaszította volna, hanem azt mohón magához vonzotta.

E kisérletet többször ugyanazon eredménynyel ismételte. S miután a többi testek villámosságát megvizsgálta, és majd vonzást, majd taszítást észlelt: azt következtette, hogy kétféle, egymással ellentétes villámosság létezik; az egyiket üvegvillámosság-nak, a másikat

gyantavillámosság-nak nevezte el. Megkülönböztető jelök az, hogy két egynemű villámosság egymást taszítja, két különnemű pedig egymást vonzza. Ezen alapelvből, úgy mond, sok tüneményt lehet megmagyarázni, mely eddig talány volt, és még sok új felfedezésre is vezethet.

Azonban később, különösen du Fay halála után e megkülönböztetést elvetették; a mire különösen azon tapasztalat szolgáltatott okot, hogy két egyenlő villámosságú test is, ha az egyik erősebben villámos, mint a másik, vonzzák egymást. Ebből kiindulva a különböző villámosságot csak quantitativ különbségnek nézték. Ugyanis felvették, hogy minden test bizonyos mennyiségü villámosságot tartalmaz, ha a dörzsölés által ebbe a dörzsölő testből új villámosságot vezetünk, akkor a dörzsölt test a villámosság egy nemét mutatja, és ennek ellenkezőjét mutatja akkor, ha a dörzsölés által villámosságot veszít, vagyis ha a dörzsölő testbe megy át a villámosság egy része. Ezen elmélet szerint magyarázta Franklin Philadelphiában 1750 körül tett világhirü kisérleteit is, mig bostoni barátja Kinnersley du Fay ellentétes villámosságait ismét fölfedezte. Franklin e tüneményeket körülményesen tanulmányozta, és e tanulmány eredménye az volt, hogy du Fay feledékenységbe ment elméletét ismét érvényre emelte; mert a már most rendelkezésére állott nagymennyiségü villámossággal azt tapasztalta, hogy egy kén- és egy üveggömb dörzsölése által nyert villámossággal megtöltött vezetők mindaddig taszítják egymást, míg az egyik villámosság, a másikhoz képest már igen csekély, és akkor is csak úgy vonzák egymást, ha igen közel vannak. Továbbá a két villámosság között még egyéb különbségeket és vélt látni.

Miután a villámosság két neme főleg csak abban különbözik egymástól, hogy egymás iránt ellentétes tulajdonságot mutatnak, azért Franklin positiv és negativ villámosságoknak nevezte el. Azóta az üvegvillámosságot positiv-, a gyantavillámosságot negativ-villámosságnak nevezik.

1753-ig azt hitték, hogy ugyanazon test a villámosság csak egy nemét adhatja, ha dörzsöltetik. Igy például az üveg mindig positiv, a pecsétviasz negativ villámosságot adott; és ezeket e testek lényeges és változhatatlan tulajdonságainak tartották. Canton volt az első, ki megmutatta, hogy a villámosság neme a test felületétől és a dörzsölő anyagtól is függ. Canton megmutatta, hogy a homályosra csiszolt, tehát érdes felületü üveg posztóval dörzsölve nemleges villámosságot ad; mig ha olajban itatott selyemmel dörzsöltetik, ismét olyan villámosságot ad, mint a sima üveg, ugyanis positiv-ot.

E tárgyat nagy mértékben felvilágosítá Bergmann, svéd tudós. Vizsgálatai által azon fontos elvet állapitá meg, hogy két test egymással való dörzsölése által mindig kifejlődik a villámosság mindkét neme: az egyik testen a positiv a másikon a negativ villámosság. Ha ugyanazon két testet hasonló körülmények között, ugyanis egyenlő mérsékletnél és egyenlő felülettel, dörzsöljük egymáshoz, kivétel nélkül mindig ugyanazon testen

találjuk a positiv villámosságot. De legtöbbször találunk sok olyan testet, melylyel az utóbbi dörzsölve, mindig negativ villámosságot nyer. Úgy, hogy Bergmann a testeket oly sorrendbe állította, melyben minden test a következővel dörzsölve positiv-, és minden előtte állóval negativ villámosságot nyer. Wilke, Aepinus és Canton kisérletei szerint e sorrend a következő:

1. Macskabör
2. Csiszolt üveg
3. Gyapot
4. Toll
5. Fa
6. Papiros
7. Selyem
8. Gummi
9. Gyanta
10. Érdes üveg
11. Higany
12. Csiszolt fémek.

Wilke figyelmeztet arra, hogy e kisérleteknél különösen ügyelni kell, hogy a közlött villámosságot a dörzsölés által keletkezettől megkülönböztessük.

Ha két egynemű testet dörzsölünk egymáshoz, akkor is az egyik positiv, a másik negativ villámosságot nyer. De megeshetik, hogy mindkettőn egyenlő villámosságot találunk. Igy például Faraday két egymáshoz dörzsölt flanell-szalagban csak nemleges villámosságot talált. Ilyen esetben a villámosság másik neme a dörzsölés által levált részekkel vezettetik el. Faraday a lehulló flanellrészeket elszigetelt fémlemezen fogta fel, mely lemez csakugyan az eltünt positiv villamosságot tartalmazta.

Bergmann felkölti még a figyelmet arra, hogy a melegségnek nagy befolyása van az ébresztett villámosság mennyiségére, valamint nemére. Ebbeli tapasztalatait akkép foglalja össze, hogy a melegség a testeket hajlandóbbá teszi negativ villámosságot ébreszteni. Ezen tételt Dessaigne vizsgálatai teljesen igazolják. Ő azt találta, hogy, ha két egyenlő, de különböző mérsékletü üveglapot egymáshoz dörzsölünk, a melegebb mindig negativ villámosságot nyer. Ha üvegrudat ólommal dörzsölünk, akkor az positiv villámosságot vesz fel; de ha az ólmot erősen hozzá szorítjuk, úgy hogy az üveg tetemesen felmelegedik, akkor negativ villámosságot nyer.

Ebből magyarázható a síma és a durva üveg különböző magaviselete; az érdes felületü üveg ugyanis a dörzsölés alatt nagyon megmelegszik és azért negativ villámosságot vesz fel.

IV. A villámos influentia.

Canton a villámosság tanának új lendületet adott a villámozás új módjának felfedezése által, mely szerint valamely testet villámozni lehet anélkül hogy dörzsöltetnék, vagy villámozott testtel érintetnék.

Canton ugyanis azt tapasztalta, hogy cérnaszálakra egymásmellé függesztett két bodzabél-golyó egymástól elválik, ha villámos testet közelitünk hozzájuk. A golyók ismét összecsapnak, ha a villámozott testet eltávolitjuk. Egy másik golyópárt selyemszálakra füg-

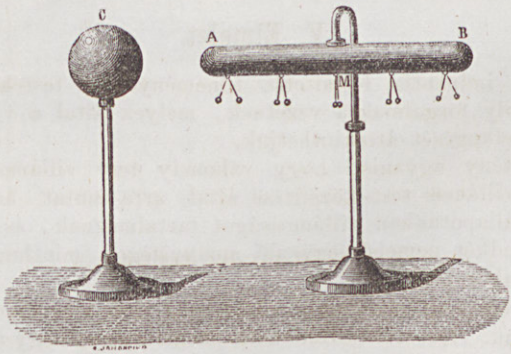
gesztett, és ezeknél azt tapasztalta, hogy a villámos testet közelebb kell hozni, hogy egymást taszítsák, de a villámos test eltávolítása után egy ideig eltérített helyzetükben megmaradnak. Első kisérletét azután akkép ismételte, hogy a cérnaszálakat elszigetelt fémhengerre erősítette. Ekkor a villámozott üvegrúd közeledtével a henger végére függesztett golyócskák sokkal mohóbban váltak el, mint előbb. És ha az üvegrudat rövid ideig mintegy 6 hüvelyk távolságban tartotta a hengertől, akkor a golyók ugyan összeestek az üvegrúd eltávolítása után, de miután érintkeztek, ismét szétváltak. Ez eltérésük nagyobbodott, ha a villámozott üvegrudat hozzájuk közelítette, ép úgy, mint mikor a golyók érintés által negativ villámosságot nyernek. Ebből Canton azt következteti, hogy oly vezető, mely valamely villámos test hatásakörében tartatik, ezével ellentétes villámosságot nyer.

Ezt megerősíték Franklin és Wilke kisérletei is, de a döntő kisérletet csak Aepinus tette. Nagy fémvezető egyik végére selyemszálon tartott kis súlyt helyezett, és ezt leemelte, mialatt a villámos test a vezető közelében volt. A leemelt súly csakugyan a villámos testével ellentétes villámosságot mutatott, akár elszigetelve, akár a földdel összeköttetésben volt a nagy vezető.

E kisérletek, bármily fontosak is voltak a villámosság alapelveinek tisztázására, nem meríték ki kellőleg a tárgyat. A vezetés és dörzsölés nélküli villámozás homályban maradt, mig 1755 körül egy felvilágositó kisérlet vált köztudomássá, melyet igen valószinűen pekingi missionáriusok hoztak Európába. E fontos kisérlet lényegében a következő:

Ha szigetelő üvegoszlopon álló A B fémhengerhez (257. ábra), mely cérnára kötött bodzabél-ingapárakkal van felszerelve, a C villámos

257. ábra



testet közelítjük, akkor az ingák szétválnak, egymást taszítják, úgy a mint az ábra mutatja: a kölcsönös taszítás a henger végein legnagyobb, és közepe felé mindinkább gyengül. Ha ezen ingák villámosságait megvizsgáljuk, azt találjuk, hogy az M ponttól, melynél

helyzetük nem változott, a villámos test felé eső részek ennek villámosságával ellenkezőt tartalmaznak, mig a távolabb eső részek vele egynemű villámosságot mutatnak.

A mint a villámos testet eltávolítjuk, eltünik a fémhenger villámossága is.

E tüneményt villámos influentiának, villámos szétoszlásnak nevezték el.

Az AB hengert ily módon állandó villámossággal is tölthetjük meg. Ugyanis, ha a hengert vezető által a földdel összekapcsoljuk, és ez összeköttetést megszüntetjük, mielőtt a C villámos testet eltávolítjuk. Az közömbös, hogy a hengert melyik pontján kötjük össze a földdel, tehetjük ezt akár B-nél, akár A-nál, a hengeren mindig C villámosságával ellentétes villámosság marad meg. Mert ez esetben a henger a vele összeköttetésben álló földdel együtt képezik a testet, melyben a villámosság szétoszlik, és a közelebbi részekben a villámos testtel különnemű, a távolabb fekvőkben pedig a vele egynemű villámosság terjed el, s minthogy ez utóbbiak az egész földből állanak, e villámosság észrevehetetlen lesz. Ha már most az összeköttetést megszüntetjük, a villámos testtel egynemű villámosság a földben eltünik, mig a henger a különnemű villámossággal megtöltve marad. E villámosságot a földdel összekapcsolt vezető nem vezethette el, mert a villámos test által vonzatott. Nem csak vezetőkön, hanem szigetelőkön is ébreszthető villámosság influentia által; természetes, hogy e tekintetben is a különböző testek sajátságainak megfelelő különbségeket kell találnunk. Mig a vezetőn az influentia azonnal teljes hatásával lép fel, és a hatás rögtön megszünik a villámos test eltávolításával, addig a nemvezető testben csak bizonyos idő lefolyta után vehető észre a hatás, és a villámos test eltávolításával villámos marad. A villámosságok ép úgy helyezkednek el itt, mint a vezetőkön.

V. Elmélet.

1. Az influentia létesitette tünemények a testek természetes állapotáról oly forgalmakra vezetnek, melyek által a villámos tünemények összefüggését áttekinthetjük.

Azon tény ugyanis, hogy valamely test villámossá válhatik csupán egy villámos test közelítése által, arra mutat, hogy a testek, természetes állapotukban villámosságot tartalmaznak, és pedig a villámosság mindkét neméből egyenlő mennyiséget, minthogy kifelé hatást nem gyakorolnak.

A villámosság mivoltáról eddig még nem sikerült tiszta fogalmat alkotnunk. De mióta Helmholtz megmutatta, hogy a Mayer által a hőre bebizonyított munkaegyenértékűség a villámosságra is ép oly tökéletesen illik, mint a hőre, hogy t. i. a villámosság bizonyos mennyiségének előállítására meghatározott munka vétetik igénybe (a mit alább látni fogunk): azóta kétségen kivül van helyezve, hogy a villámosság csak mozgás lehet, nem pedig anyag. De az egyes tüneménye-

ket, valamely mozgásnem föltételezése mellett, megmagyarázni még nem sikerült. Azért a régi anyagelméletet még most is fenntartjuk, mert nagy előnyt nyujt az, ha valamely tüneménycsoportot, önként felvett alapfogalomból megmagyarázván, az egyes tüneményeket kapcsolatba hozzuk. Addig, míg minden tüneménynyel megegyező hypothesist alkotni képesek nem vagyunk, megtartjuk azt, melylyel a legegyszerűbb módon a legtöbb tüneményt magyarázhatjuk meg. Ilyen Simmer hypothesise, melyet a múlt század ötvenes éveiben felállított, és melynek alapfogalma a következő.

A természetben kétféle finom anyag, villámos fluidum van, melyek mindegyike a villámosság egy-egy nemének felel meg. Természetes állapotban a testek a két fluidumtól egyenlő mennyiségeket tartalmaznak; ha a test igenleges villámosságú, akkor ebből többet tartalmaz, mint a nemleges villámos fluidumból. Ez történhetik vagy az által, hogy igenleges villámosságot közlünk a testtel, vagy hogy nemlegest belőle elvezetünk.

E villámosságok vonzzák és taszítják egymást; a test a vonzott villámosságot követi, mert villámosságát egy-könnyen el nem hagyhatja.

Az influentia e szerint a test természetes állapotának szükségképi következménye. Mert ha valamely testhez villámos testet közelítünk, ez az elsőben foglalt vele egynemü villámosságra taszítólag és a másikra vonzólag hatván, e két villámosságot szétosztja. Ha a villámos testet ismét eltávolítjuk, akkor megszünik azon erő, mely a két villámosságot a testben szétoszlatja, ezek tehát vonzásukat követve, egyesülni fognak. A test ismét természetes állapotába tér vissza, ha a villámosság egyik neméből nem veszített.

Ha azonban a vezető test a földdel össze volt kapcsolva, akkor a közelített villámossággal egynemű villámossága lehetőleg eltávolodván, a földben elvész és a ható villámosság eltávolítása után a testben a vele különnemü, vagyis az általa vonzott villámosságot találjuk.

Minél inkább közelítünk jó vezető villámos testet más jó vezetőhöz, annál nagyobb mennyiségü villámosság osztatik ebben szét. Ha a két test egymással érintkezik, a két vonzott villámosság kiegyenlődik, egymás hatását megsemmisiti; marad tehát a második testben az előbbivel egynemű villámosság, mint ha a villámos test saját villámosságát közölte volna vele.

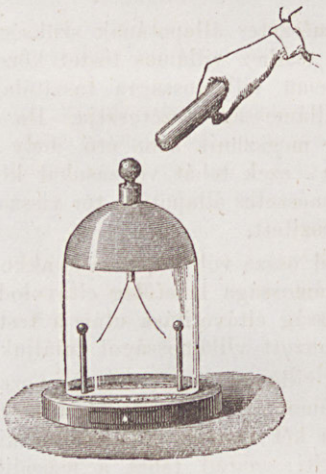
Az érintkezés előtt rendesen egy szikra csap át az egyik testtől a másikra, és ha ezután vizsgáljuk a két villámos test állapotát, azt találjuk, hogy az eredmény tökéletesen az, mint ha a két test érintkezett volna. Ebből következik, hogy a villámos szikra nem egyéb mint a villámosság két nemének egyesülése a levegőn át, mely villámosságok kölcsönös vonzása túlhaladta azon erőt, melylyel a testekhez ragaszkodnak.

VI. A villámosság-mutatója.

Valamely test villámosságának kimutatására sokáig könnyü testeket használtak, melyek vonzása által a villámosság jelenléte ki lett mutatva. Kényesebb kisérletekre vízszintesen függő, könnyü rudacskákat majd selyem-, illetőleg vezető-szálra függesztett bodzabél-golyócskákat használtak, mely mód ma is általánosan el van terjedve. Később ilyen ingapárt üvegharang alá helyeztek, hogy légáramlásoktól megóvják, és a vezetőszálakra erősített golyócskákat a burából kinyuló vezető segítségével töltötték meg. Volta, pontos mérések eszközlésére a golyócskákat szalmaszálakkal helyettesítette és igen érdekes kisérleteket tett azon célból, hogy e készülékeket összehasonlíthatóvá tegye, a mint a hőmérők adatait összehasonlíthatókká tették. Azonban a vizsgálatok gyakorlati eredményre nem vezettek.

Jelenleg kis villámosságok kimutatására a szalmaszálak helyett aranylemezkéket használunk, és ezeket influentia által töltjük meg. A készüléket a 258. ábra mutatja.

258 ábra.



Egy üvegburából áll, mely fémlapon nyugszik; felső részén fúrt nyilásba fémrúd van erősítve, mely külső részén gombban végződik, és alsó végén két vékony aranylemezkét hord. A bura fölső része gyakran az üvegnél jobban szigetelő anyaggal van födve.

Annak felismerésére, hogy valamely test villámos-e, azt az elektroskop gombjához közelítjük; ha villámos, akkor az electroskop fémrúdjában a villámosság szétoszlik, mi által az aranylemezkék a megvizsgálandó villámosság nemével megtelnek, és egymást taszítják, úgy hogy párhuzamos helyzetükből az ábrában látható helyzetbe térnek át. A villámosság nemének felismerésére, a gombot újjunkkal megérintjük, ez által az aranylemezek ismét összeesnek, mert a taszított villámosságot elvezettük; az electroskopban csak a testtel egynemű villámosság marad. Ha már most a testet eltávolítjuk, az electroskopban maradt villámosság az egész rúdban terjed el és a lemezkék ismét széthajlanak. A megmaradt villámosság nemének felismerésére csak ismeretes villámossággal telt testet, például posztóval dörzsölt üvegrudat kell az electroskophoz közelítenünk; ha a lemezek ez által még jobban széthajlanak, akkor igenleges villámosságot tartalmaznak, tehát a test villámossága nemleges volt. Ellenkező esetben a lemezek összeesnek.

Minthogy e készülék igen érzékeny, gyakran megesik, hogy erős villámosság közelítése által a lemezek annyira szétlöketnek, hogy a

burára tapadnak, a honnan sérülés nélkül csak bajosan sikerül őket levenni. Ennek elhárítására két kis fémoszlop van felállítva; a mint a lemezek ezen oszlopokhoz érnek, villámosságukat elvesztik és ismét összeesnek.

VII. A villámos vonzás és taszítás törvénye.

1. Valamint a delejes vonzás és taszítás törvényeit, úgy a villámosság e hatásait Coulomb derítette fel sodrati mérlegével. Ugyanazon módon, melylyel a delejes hatás törvényeit meghatározta, találta azt is, hogy a villámosság vonzó és taszító hatása szintén a távolság négyzetével fogy. Mérlegrúd gyanánt schellak- vagy schellakkal bevont igen vékony üvegrudacskát használt, melynek egyik végére bodzabél-golyócskát erősített; ehez egy másik ily rudacskára erősített golyócskát közelített. E két golyócskát majd egynemű, majd különnemű villámossággal töltötte meg; így nyerte, a fönnebb leírt módon, az idézett törvényeket.

2. **A villámosság mennyisége.** — Coulomb mérlegének segítségével valamely testtel közlött villámosság mennyiségét is meghatározhatjuk, a mennyiben egyenlő távolságokból 2-szer, 3-szor nagyobb erőt kifejtő villámosságot 2-szer, 3-szor nagyobb mennyiségűnek mondunk.

A villámosság mennyiségének e definitiójából következik, hogy a kölcsönös vonzás és taszítás a villámos mennyiségek szorzatával arányos. A vonzás és taszítás erejét tehát a következő képlettel fejezhetjük ki:

$$F = \pm f \cdot \frac{m m'}{r^2}$$

hol m és m' a két villámosság mennyisége és r távolságuk; f az arányosság tényezője; $+$ a vonzásra és $-$ a taszításra vonatkozik.

NEGYEDIK FEJEZET.

A villámosság elterjedése a vezetőkön.

I. A csúcsok hatása.

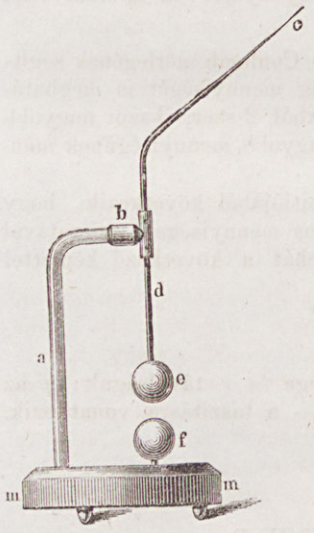
1. 1850 körül Európában és Észak-Amerikában egyidejüleg azon nevezetes tény vált ismeretessé, hogy a vezetőkön lévő, vagy rájuk erősített csúcsok és élek különös befolyást gyakorolnak a villámosságra. A midőn Hopkinson egy vasgömbre tűt erősített, hogy a villámosságot a tű hegyén összpontosítsa, megsűrítse, nagy csodálkozására ott villámosságot épen nem talált. Ez Franklint tüzetes vizsgálatokra indította, melyekből kiderült, hogy a csúcsokon át a

villámosság nagy mértékben özönlik a térbe, illetőleg a levegőbe, úgy hogy a csúcscsal vagy éllel felszerelt vezető villámosságának legnagyobb részét rövid idő alatt elveszti.

Jallabert továbbá azt tapasztalta, hogy az egyik végén csúcsos, a másikon gömbben végződő vezető lényegesen különböző magaviseletet mutat, ha csúcsos végével közelíti egy villámos testhez, vagy ha a gömböt közelíti hozzá. A csúcs ugyanis, mintegy felszívja a villámosságot, és ez által a vezető meglepő rövid idő alatt telik meg villámossággal oly távolságból, melyből a gömb alig vesz fel villámosságot.

E mellett a csúcs kevésbbé erős villámosságnál is, sötétben sajátságos fényt áraszt, mely igen hasonlít a fönt leírt légüres térben észlelt fényre.

259. ábra.

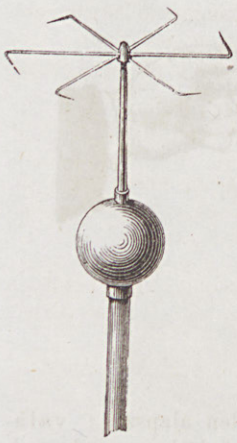


Jallabert kisérletét a 259. ábrában lerajzolt készülékkel igen szembeötlően mutathatjuk meg. A *cd* rézdrót *c*-nél finom hegyben, *c*-nél üres gömbben végződik. A drót a *b* tartóban, mely az *a* üvegoszlopra van erősítve, föl-le tolható. Az *mm* lapra, melyen az üvegoszlop áll, egy másik rézgömb *f* van erősítve. Ha a *c* csúcsot erősen megtöltött vezetőhöz közelítjük, benne villámos oszlás áll elő: a csúcs vonzott villámossága a villámos testhez szivárog, miáltal az *e* gömbben, a közelített villámossággal egynevű villámosság összegyül. Ha az *f* gömböt vezetővel a földdel összekapcsoljuk, és *e*-t tőle kellő távolságban tartjuk, akkor könnyen elérhetjük, hogy *e*-ből szikra csap át *f*-be. Miután a közelített villámosság a csúcs ellentétes villámossága által megsemmisíttetik, mondhatjuk, hogy a csúcs tökéletesen azon hatást szüli, mintha a villámosságot magába színá.

A csúcsok kiszivárgó tulajdonságát Hamilton dublini tanár igen meglepő módon mutatta meg. Körülbelül 5 hüvelyk hosszú drót két végét hegyesre köszörülte, és közepén mélyedést vájt, melylyel a vezetőre erősített tű hegyére állítva, könnyen forogható. A drót hegyes végeit derékszög alatt meghajlította. A mint a vezetőt, melyre a tű erősítve volt, megvillámozta, a drót forgásnak indult, és pedig azon iránynyal ellenkezőleg, melyben a villámosság a csúcsokból kiszivárgott. E kisérlet még könnyebben sikerül, ha a 260. ábrában látható módon kettőnél több csúcsot alkalmazunk.

A lángok is nagy mértékben mutatják a csúcsok hatásait. A lángokból ugyanis finom gázcsúcsok emelkednek, melyek hőfokuk kö-

260. ábra.



vetkeztében oly jó vezetőkké válnak, hogy a fémcsúcsok hatásait is meghaladják.

2. **E hatás magyarázata.** — A csúcsok leírt hatásait különbözőkép magyarázták. Igy Cavallo ezt a környező levegőből magyarázza. A levegő ugyanis a villámos testektől folytonosan vezet el villámosságot, dacára annak, hogy a levegő szigetelő test. Azonban a megvillámozott levegő-részecskék ellöketvén, új részeknek engednek helyet, úgy hogy a villámos testek ily módon villámosságukat rövid idő alatt teljesen elvesztik. Ebből Cavallo azt következteti, hogy bizonyos nagyságú felület annál hamarább veszti el villámosságát, minél nagyobb levegőmennyiséggel érintkezik. Szemeljünk ki például a vezető síma felületén egy, a tű csúcsával egyenlő felület-részecskét; azonnal szembe tünik, hogy egyenlő felület mellett a csúcs sokkal több levegővel érintkezik, mint a másik; minélfogva a vezetővel közlött villámosság a csúcsnál nagyobb mértékben szivárog ki, mint síma felületén.

E magyarázatot azonban, és az őt követőket lényegesen kiegészítették és javították azon fölfedezés által, hogy a villámosság csak a testek felületein tartózkodik.

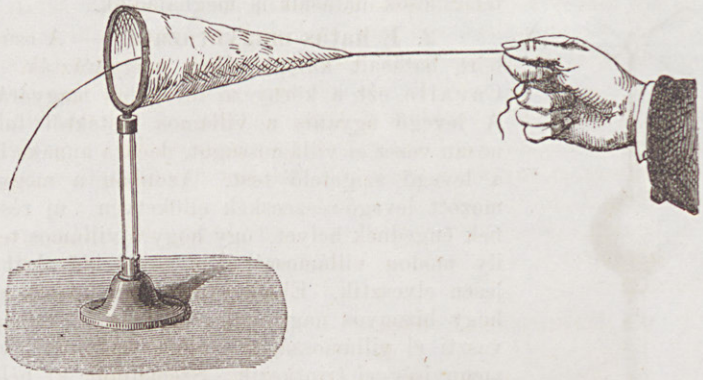
II. A villámosság a vezetőkön.

1. Már általánosan ismert tény volt, hogy valamely test egyenlő mennyiségü villámosságot vesz fel, akár tömör akár üres, ha különben egyenlő körülmények közt töltetik meg, midőn a döntő kisérletek annak bebizonyitására, hogy a villámosság mindig csak a vezetők felületén terjed el, nagy feltünést okoztak. A többi közt Faraday drótból szőt hengert készített és azt elszigetelt fémlapra állitván, megvillámozta. Ha üvegpálcára tapasztott aranypapirt a henger külső felületéhez érintett, a papir megtelt villámossággal, de a henger belső felületeből legkevesebb villámosságot sem nyert.

Még meglepőbb Faraday következő kisérlete. Elszigetelt fémgyűrűre vezető szövetből kúpalakú zacskót (261. ábra) erősített, melyet a csúcsra alkalmazott, kétfelé nyuló selyemfonallal meg lehetett fordítani, úgy, hogy az előbbi belső felület külsővé vált és viszont. Ha e készüléket villámossággal megtöltjük, mindig csak a külső felületen találjuk azt. És ha a belső selyemfonalat meghúzzuk, a külső felület belsővé válván, a villámosság követi e változást, át megy a másik felületre, arra, mely most a külső.

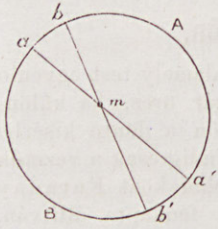
2. **A felületen való elterjedés magyarázata.** — Abból, hogy az egynemű villámosságok a fönt talált törvény szerint taszitják egymást, megmagyarázhatjuk az oly feltünőnek talált tüneményt, mely szerint a villámosság csak a testek felületein tartózkodik.

261. ábra.



E magyarázat a következő általános tételen alapszik: valamely gömb- vagy gömbtől kevéssé eltérő felület, melynek minden eleme tömegével egyenes, és távolságának négyzetével fordított arányban álló erővel vonz vagy taszít valamely pontot: a gömbön belül lévő pontra hatással nincs.

262. ábra.



Ennek bebizonyítására legyen AB (262. ábra) a hatásos gömb és m a gömbön belül lévő pont. Valamely ab elem hatása lerontatik azon $a'b'$ elem hatása által, mely az abm képzelt kúp meghosszabbításának alapját képezi. Mert csakugyan, ha a ható tömeg egységeinek a távolság egységében kifejtett erőt f-el jelöljük, az ab elem hatása a tőle d távolságban levő m pontra $f \cdot \frac{ab}{d^2}$ lesz; az $a'b'$ elemé pedig $f \cdot \frac{a'b'}{d'^2}$, ha ennek távolságát m-től d'-el jelöljük.

Minthogy ab valamint $a'b'$ oly kicsinyek, hogy síkoknak tekinthetők, és d am vagy bm-mel egyenlíthető, áll a következő mértani összefüggés:

$$ab : d^2 = a'b' : d'^2$$

tehát áll az is, hogy

$$f \frac{ab}{d^2} = f \cdot \frac{a'b'}{d'^2}$$

vagyis a két elem hatása az m pontra egyenlő. S minthogy minden elemnek meg van az ily értelemben vett párja, világos, hogy az m pontra működő erők egymást ellensúlyozzák.

A villámosság is mennyiségével egyenes és a távolság négyzetével fordított arányban működő erő lévén, e tétel erre is áll. Keskeny gömbréteg villámossága tehát a belsejében lévő villámosságra nem hat.

Képzeljünk már most egy villámozott gömböt, vagy ettől kevéssé eltérő testet végtelen keskeny concentrikus gömbökre felosztva. Ilyen gömb felületén lévő villámos elem a külső gömbökön elterjedő villámosság által nem taszíttatik, azonban a középponthoz közelebb lévő gömbfelületeken elterjedő villámosság által kifelé taszíttatik; ennélfogva addig kell távolodnia a középponttól, mig a test felületéhez ér. Igy tehát, ha a villámos elemek egészen szabadon is járhatnák át a testet, egymásra gyakorolt hatásuk következtében csak a felületen tartózkodhatnának.

A felületen még mindig meg van a továbbterjedés törekvése, de a testet környező levegő, mely a villámosságot roszul vezeti, ellentáll e törekvésnek.

3. **A villámosság sűrűsége.** — Ha két egyenlő felületü testen a villámosság mennyisége különböző, akkor az egyik erősebben van megtöltve mint a másik; ekkor az egyik test felületegységére nagyobb mennyiségü villámosság esik, mint a másiknál. Azon villámosság mennyiséget, mely valamely test felületegységére esik, a villámosság sűrűségének nevezzük; tehát az erősebben megtöltött testen a villámosság sűrűsége nagyobb.

Coulomb méréseiből következik, hogy ha két vezető gömb érintkezik, akkor a velök közlött villámosság felületük nagysága szerint oszlik meg közöttük.

4. **A villámosság sűrűsége a villámozott test különböző pontjain.** — Azon föltételből, hogy a villámosság a távolság négyzetével visszás arányban egymást taszító elemekből áll, a felületen való elterjedést vezettük le. Ugyan-e törvény alapján számította ki Poisson, hogy a villámosság a testek felületein mikép terjed el, hogy az egyes pontokban mekkora sűrűsége. Azonban e számítások csak egyszerű mértani alakokra vihetők keresztül, és itt is oly bonyolódott mathematikai problemákkal találkozunk, hogy itt csak e tény megemlítése találhat helyet.

Coulomb kisérletileg határozta azt meg, és eredményei az elméletileg nyert eredményekkel megegyeznek. Coulomb módszere a következő tényen alapszik.

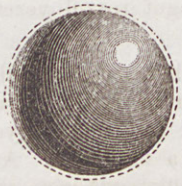
Ha valamely villámos testet oly kis elszigetelt testtel érintünk, hogy az egyesítés által az elsőnek alakja csak jelentéktelenül változik, akkor e kis test az érintés helyén lévő villámossággal arányos mennyiséget vesz fel. Erről Coulomb a következő kisérlet által győződött meg. Egy villámozott gömböt kis elszigetelt gömbbel érintett és ez utóbbinak igy nyert villámosságát akkép mérte meg, hogy a villámos mérlegben álló-gömbül használta. A mozgó gömb előlegesen ezzel egynemű villámossággal töltetett meg. Azután a nagy villámos gömböt vele egyenlő nagyságúval érintette, tehát villámosságát megfelezte. Erre ismét a kis golyóval érintette, mely most az előbbi villámosság felét tartalmazta. Ebből következik, hogy a kis golyó az érintett helyen lévő villámossággal arányos mennyiséget vesz fel.

Egy test különböző pontjának megvizsgálására Riess két ily próba-testecskét alkalmaz egyidejüleg. Az igen kényes és csak különös gonddal végrehajtható kisérletek főbb eredményei a következők:

a) A gömb minden pontján a villámosság sűrűsége egyenlő, mint a 263. ábrában a pontozott vonal jelöli.

b) Az ellipsoidon a sűrűség a nagy tengely végpontjain legnagyobb, és a kis tengely végpontjain legkisebb (264. ábra). A különbség annál nagyobb, minél nagyobb a tengelyek közti különbség.

263. ábra.



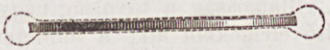
264. ábra.



c) Síkokkal határolt lemez közepén egész a szélekig a villámosság igen csekély, míg a széleken összehalmozódik (265. ábra).

d) Félgömbökkel határolt hengeren az előbbihez hasonlóan helyezkedik el a villámosság (266. ábra).

265. ábra.



266. ábra.



e) Ha két golyó érintkezik, úgy az érintés pontjánál a villámosság semmi és egész 20 foknyi távolságig alig észrevehető; innen 90 fokig sebesen növekszik, 90-től 180 fokig a növekedés igen csekély.

Ha az egyik golyó kisebb a másiknál, akkor a legnagyobb sűrűség még mindig a középpontokat összekötő vonal végein van, de a kis golyó maximuma nagyobb, mint a nagy golyóé. Ha a golyókat szétválasztjuk, a nagyobb golyó több villámosságot tart meg, mint a kicsiny, de az utóbbin a sűrűség nagyobb, mint az elsőn és pedig annál közelebb áll ennek kétszeres sűrűségéhez, minél kisebb a kis golyó.

Ezekből már most világosan látjuk, hogy a csúcsok miért mutatják ama leírt tüneményeket. A csúcsokon ugyanis a villámosság sűrűsége felette nagy, a miért az mohón szivárog az őt amúgy is nagyobb mértékben környező levegőbe.

ÖTÖDIK FEJEZET.

A villámosság sűrítése és a villámgépek.

I. A leydeni palack felfedezése.

1745-ben az egész művelt és műveletlen világot izgató kíváncsiságba helyezék egy rendkivüli kisérlet tudosításai. A villámosság oly hatásairól szóllottak ezek, melyek az ember egész testét megrázzák, és hosszabb ideig tartó jelentékeny fájdalmat okozhatnak; szóval oly hatásokról, milyenekhez mérhetőt addig a villámosság nem mutatott.

E felfedezésnél is azon gyakori eset fordult elő, hogy többen majdnem egyidejüleg, egymástól függetlenül akadtak e tüneményre. Nincs mit csodálkozni azon, hogy ha a tudomány már bizonyos fokot elért és az eredmények tetőzésére csak egy eszme, egy az egészet felvilágositó alapgondolat vár: hogy ez több agyban fogamzik meg egyszerre. Mert bármily rejtélyesnek látszott legyen az új felfogás, lényegében mégis a megelőzők szükségképi következménye. A lángészt az ily rejtélyes kapcsolatok felderitése jellemzi. De akkor is, ha tisztán a véletlen vezet egy új tüneményre, mint a jelen esetben, megmagyarázható a többszörös egyidejü felfedezés abból, hogy a tudomány eredményei által megszabott kisérletezés módja némi tekintetben egyöntetü.

Igy történhetett, hogy Kleist Henrik pommeraniai öspörös egyrészt, Musschenbruoek és Canäus Leydenben másrészt egyidejüleg a következőket tapasztalták.

Kleist egy kis üvegpalackba szöget tett, és egyik kezével a palackot tartva, megvillámozta a szöget. A mint a szöget másik kezével érintette, megdöbbenő erős lökést kapott, mialatt élénk szikra csapott át a kézre. E szikrával könnyen lehetett a kézre öntött borszeszt meggyujtani. Hatása néha oly nagy volt, hogy szük nyakú palackokat szétrepesztett.

Néhány hónappal Kleist tapasztalata után Musschenbroek Leydenban barátjaival experimentálván, el akarták háritani, hogy a villámosság a megtöltött vezetőről ne szivárogjék oly gyorsan el, a mint az kivált nedves levegőben történik. E célra a vezetőt körülvették szigetelő anyaggal. Legkényelmesebbnek mutatkozott e kisérletekre a vízzel megtöltött pohár vagy palack, a hol a viz mint vezető és az üveg mint szigetelő szerepelt. Azonban különös eredményt nem értek el, a viz mindig csak igen gyenge, alig érezhető és alig látható szikrákat adott; mig nem Canäus-on megesett, hogy midőn a poharat egyik kezében tartva, a villámosságot vezető drótot másik kezével a vízből ki akarta venni, oly lökést kapott, mely két karján és mellén jelentékeny fájdalmat okozott. Musschenbroek az ily lökés hatását, bizonyára leginkább a meglepéstől származó be-

nyomás következtében, borzasztónak mondja; Franciaország koronájáért — írja Reaumur-hez intézett levelében — nem tenné ki magát még egy ily megrázkodtatásnak.

E kisérletet, habár Kleist fedezte fel legelőbb, leydeni kisérletnek nevezték.

E kisérletet ezután világszerte ismételték, és hogy az erősített villámosságot tanulmányozni lehessen a nélkül, hogy mindenkor a fájdalmas hatást érezni kellessen, Winkler a következő módot ajánlotta. A vizet és a vezető drótot tartalmazó üveget óntányérra tette; az üveget fémlánccal vette körül és erre gömbben végződő fémdarabot helyezett, a villámozó vezetőt e gömbhöz közel állítá. Miután a vízben bizonyos mennyiségü villámosság összegyült, a gömbtől a vezetőbe oly erős szikra csapott át, hogy azt száz lépésnyi távolságból hallani, látni is lehetett.

Ezt követte Bevis fölfedezése, a ki azt találta, hogy a leydeni készülék hatását tetemesen lehet fokozni az által, hogy az üveg külső felületét ónlemezekkel bevonjuk. Wilson pedig e fokozott hatást akkép létesitette, hogy a vízzel telt palackot nyakig vízbe mártotta.

II. A leydeni palack magyarázata.

1. **A leydeni palack két felülete ellentétes villámosságot tartalmaz.** — A leydeni palack csodás hatásának megmagyarázására számtalan kisérlet tétetett; azonban a probléma megoldása csak a két ellentétes villámosság határozott felismerése és az influentia fölfedezése után sikerült. A munka oroszlányrészét Franklin illeti meg. Ő felfedezte, hogy ha egy palack meg van töltve, akkor selyemszálon függő bodzabélgolyó a külső fémboríték által vonzatik, ha a belső vezetővel közlekedő dróttal megvillámoztatott. Ezt igen szép kisérlettel mutatta meg; ugyanis a külső boritékhoz gömbben végződő drótot erősített, és ezt a belső gömbhöz közel helyezé; e két gömb között függő bodzabélgolyócska szaporán ide-oda ütődött, mig a palack villámosságát teljesen el nem vesztette.

Miután már felfedezte volt azt, hogy a dörzsölő anyag villámosságát el kell vezetni, hogy a dörzsölt test villámos legyen, és hogy az elvezetett villámosság a megmaradónak ellentétese: a dörzsölő embert szigetelő anyagra állitotta. Igy a palackot megtölteni nem volt képes, de ha a külső boritékát a dörzsölő emberrel összekapcsolta, a palack még sokkal hamarabb telt meg, mint különben.

Ebből világosan kitünt, hogy a leydeni palack két felülete mindig ellentétes villámosságot tartalmaz; hogy a belső felülettel közlött villámossággal egynemű a külső felülettől elüzetik.

2. **Leydeni batteriák.** — Ez arra a gondolatra vezette Franklint, hogy egy palack külső felületéből elvezetendő villámosságot egy másik palack belső felületébe vezesse, ennek külső felületét ismét egy harmadik palack belső felületével kösse össze. Ily módon több palac-

kot ép oly gyorsan töltött meg, mint egyet. S midőn e palackokat egyszerre kisütötte, hatalmas szikrákat nyert. Igy fedezte fel a nagy hatásu leydeni batteriákat.

3. **A villámosság a palack üvegén tartózkodik.** — Franklin azt gondolta, hogy a villámosság a palack vezető részein van, de hogy erről tényleg meggyőződjék, a palackot következőkép bontotta szét. A megtöltött palackot üvegre állitá; azután kihúzta a parafadugót a gömbös dróttal, ebben nem volt villámosság. Erre a külső felületet a palack vizével összekötötte, és ép oly erős lökést kapott, mint előbb. Ezután a palackot ismét megtöltötte, és a vizet egy másik üres palackba öntötte, azon reményben, hogy ha a villámosság a vízben van, azt az új palackban fellelheti. De ott ismét semmit sem talált. Ebből azt következtette, hogy a villámosság vagy a víz kiöntése által eltünt, vagy az üvegen tartózkodik. Ez utóbbi bizonyult be az által, hogy a lökést ismét megkapta, ha fris vizet öntött a palackba.

4. **Franklin táblája.** — E kisérletet a hires amerikai physikus lemezekkel ismételte, és ezek által az előbbi következtetés még világosabban bizonyult be. Az üveglemez két oldalára ugyanis a vezetőket úgy tette rá, hogy őket könnyen lehessen ujakkal helyettesiteni. Egy megtöltött lemez vezetőit többször lehetett megujitani, anélkül, hogy a hatás tetemesen gyöngült volna. Megaranyozott üveglemezekről az arany leszakadt azon helyről, melyen a szikra átcsapott: jeléül annak, hogy a villámosság az üveg felületétől csap kifelé.

5. **Wilke és Aepinus légtáblái.** — Miután Beccaria más szigetelőket is megtöltött ily módon villámossággal, Wilke és Aepinus megpróbálták, hogy a levegő nem tenné-e meg ugyanazon szolgálatot. És csakugyan megtette; két egymáshoz közel felállított fémlemez erős töltéseket vett fel, és tökéletesen oly hatásokat szült, mint a leydeni palack.

6. **A leydeni palack elmélete.** — Az itt leirt kisérletekből az influentia felismerése után a következő elmélet képződött, mely a leydeni palack működését is a fönt körvonalozott villámos elméletre vezeti vissza.

Ha ugyanis szigetelővel elválasztott két vezető egyikére például üvegvillámosságot vezetünk, ez a másikban villámos oszlást létesít: a gyantavillámosság vonzatik, és az üvegvillámosság taszittatik; miután ez utóbbit elvezettük, a két villámosság lehetőleg közeledik egymáshoz, a szigetelő felületéhez szorul, és kifelé hatást nem gyakorol, egymást leköti. Ezáltal az első vezető ismét képes villámosságot felvenni, mely a másik felületre ugyanazon hatást gyakorolja s í. t. Ily módon az egyik felület positiv, a másik negativ villámossággal telik meg. És ha e kettőt összekötjük az egész összehallmozódott villámosság egyszerre egyenlődik ki, fényes szikra kiséretében.

Miután a villámosság csak a vezetők felületén tartózkodik, egyre megy akár vízzel töltjük meg a palackot, akár csak a palack belső felületét vezetővel vonjuk be. Azért ez elmélet megállapítása óta, a leydeni palackokat akkép készítik, hogy a tetszőleges alakú pohár vagy palack belső és külső felületét staniollal bevonják; és gömbben végződő drótot állítanak belé, mely a belső felület stanioljával érintkezik.

III. Volta condensatora.

Volta ezen elméletre alapított igen érzékeny készüléket szerkesztett, kis villámos mennyiségek kimutatására.

E készüléket a 267. ábra mutatja. Az aranylemezes elektrométerre fémlemez van csavarva; e lemez lehetőleg simára van csiszolva

267. ábra.



és vékony schellakréteggel bevonva. Egy másik hasonlóan kezelt lemez, mely szigetelő nyéllel van ellátva, az elsőre illesztetik, úgy hogy a két fémlemez csak a schellakréteg által van egymástól elválasztva.

Látni való, hogy a két fémlemez gyüjtőkészüléket képez, melyben a szigetelő réteg miatt a villámosságnak kölcsönös lekötése igen tökéletes. Ha az alsó lemezt gyenge villámforrással hozzuk kapcsolatba, mialatt a fölsőt ujjunkkal érintjük, akkor a készülék tökéletesen oly módon töltetik meg, mint a leydeni palack, melynek belső felülete a villámgéppel van összekapcsolva; csak hogy itt nagy, mig ott kis villámos mennyiségekkel dolgozunk.

Ha a készülék meg van töltve, a felső lemezt leemeljük, úgy hogy minden pontja lehetőleg egyszerre hagyja el az alsó lemezt; ezáltal az alsó lemez villámossága szabaddá lesz, mely az aranylemezekig terjedvén, azoknak szétválását okozza; e szétválást az egyenesen bevezetett villámosság, gyengesége miatt, nem eszközölhette volna.

IV. Volta elektrophorja.

Az elektricus sűrítők tanulmányozására Wilke egy szigetelő lemezt két oldalt vezetővel födött, s e vezetők leemelése által megmutatta, hogy a szigetelő villámossága ujra meg ujra átmegy a ráhelyezett vezetőre. Majdnem egyidejüleg ezzel 1773 körül Volta ugyan e tanulmányok által azon nevezetes fölfedezésre vezettetett, hogy ily sűrítő készülékből határtalan mennyiségü villámosságot lehet nyerni, ha a leemelendő vezetőt kezünktől elszigeteljük.

Volta egy, két újjnyi magas fémedénybe megömlesztett gyantát öntött; a kihűlt, tehát megkeményedett gyanta síma felületére selyemzsinórokkal vagy üvegpálcával elszigelt fémlemezt helyezett. Ha a lepényt dörzsölés által megvillámozzuk, negativ villámossága az alsó és felső vezetőben villámos oszlást létesít, miáltal a nemleges villámosság a két oldalt keletkezett igenleges villámosság által leköttetik. A lepény villámossága azért nagy ideig gyengülés nélkül megmarad.

Az alsó vezető az asztallal vezető összeköttetésben lévén, nemleges villámossága elvezettetik. Ha a fölső vezetőhöz újjunkat közelítjük, akkor a taszított nemleges villámosság szikra alakjában csap át, és a födőben, ha a lepényről leemeljük, igenleges villámosságot találunk. Ezt felhasználva, a födőt ismét a lepényre tehetjük, és ujra nyerünk belőle villámosságot, anélkül, hogy a lepény villámosságát elvezetnők.

E nevezetes tulajdonságánál fogva Volta e készülékét elektroforo perpetuo-nak nevezte el.

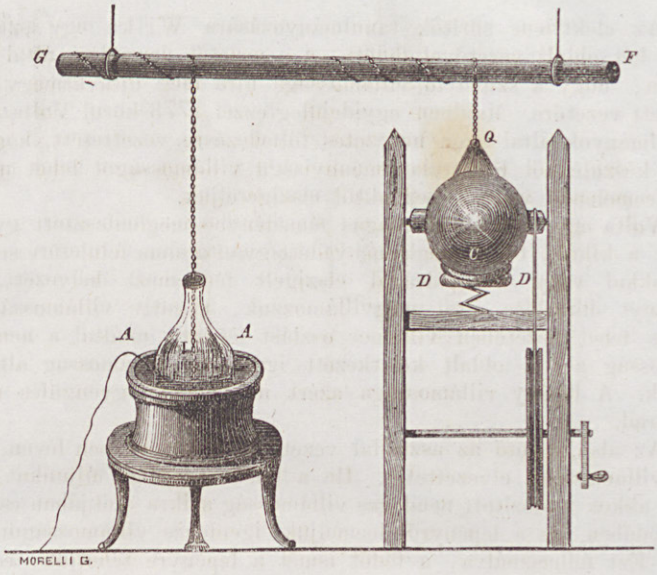
Volta e készülék használhatóságát sajátságos megtöltése módja által növelte. Ugyanis miután a lepényt gyengén megvillámozta, a leemelt födél villámosságával egy leydeni palackot megtöltött, és azután e palack külső felületét a lepényen végig vezette; miután ezt többször ismételte, az elektrophor erősebb villámosságot adott, mint az akkori villámgépek legjobbika.

V. A villámgépek.

1. Azon villámgépek, melyekkel a mult század tudósai az eddig leírt kisérletekre használt villámosságot előállitották, kevéssé különböznek a már eleve leírt Guericke forgó kéngömbjétől. Később üveggömböket és üveghengereket használtak, és 1750 körül alkalmazott a lipcsei Winckler először dörzsölő vánkosokat, hogy a kézzel való dörzsöléstől a kisérletezőt megkimélje. A 268. ábra az akkoriban legelterjedtebb villámgép szerkezetét mutatja, még pedig Wilson előbb említett kisérletével, melynél a leydeni palack hatását nagy mértékben növesztette az által, hogy vízbe állítá.

C az üveggömb, mely az alatta alkalmazott forgatóval gyors forgásba hozható. D D a dörzsölő vánkos, mely az állványnyal vezető összeköttetésben van, hogy villámossága a földbe vezettessék.

268. ábra.



G F selyemzsinórokon felfüggesztett vezető, melyen a villámosság összegyül; Q a vezetőhöz vezető lánc szálas vége, mely a gömbbel érintkezik, és villámosságát felszedi. I Wilson leydeni palackja, a mint az A A vizet tartalmazó edényen áll.

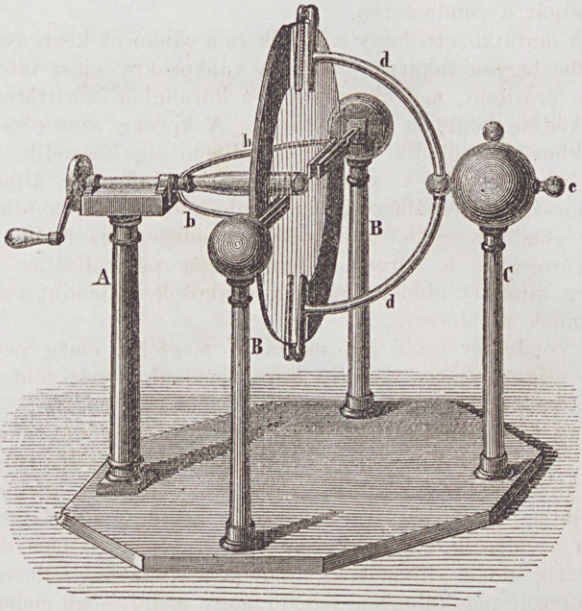
2. **Az ujabb gépek.** — 1760 körül keletkeztek a manap is általánosan elterjedt üvegkorong-gépek, melyek a csúcsok hatásán alapuló szivó készülékkel is el vannak látva. Feltalálójoknak említik Marum-, Ramsden- és Ingenhousz-t.

A 269. és 270. ábra Marum gépét mutatja. Lényeges részei először a dörzsölt üvegkorong, másodszor a dörzsölő vánkosok és harmadszor a gyüjtő, melyet conductornak neveznek.

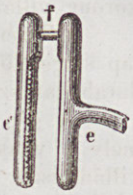
Az üvegkorong közepén forgatóval felszerelt tengelyre van erősítve. E tengelyt az A faoszlop tartja. A tengely másik végére a forgatónál ólomdarab van erősítve, hogy az üvegkorongot ellensúlyozza. B B üvegoszlopok mindegyike üres rézgömböt tart, melyekre sárgaréz vagy acélrugók vannak csavarva, ezeket keresztbe menő csavar által a közbe fogott üvegkoronghoz lehet szorítani. Az üvegkorong és a rugók közé két-két vánkos van szorítva, melyek a forgatott koronghoz dörzsölődnek.

A dörzsölő vánkosok posztóval többszörösen bevont falécekből állanak; a posztó puha bőrrel teljesen be van födve. A fa másik oldalát fémlemez födi. A bőr, mely az üvegkorongot éri, amalgam-mal van bekenve,

269. ábra



270. ábra



Eddig a Kienmaier-féle amalgamot találták legcélszerűbbnek, mely ón- és horgany-amalgamból áll; ez a legtöbb villámosságot szolgáltatja. A vánkos börfelületét egy kissé megolajozzuk, és azután a pornemü amalgamot ráhintjük; legjobb két-két vánkos egymáshoz való dörzsölése által az amalgamot egyenletesen szétosztani.

A vánkosok akkép szoríttatnak a rúgók és az üvegkorong közé, hogy az utóbbi a forgás alatt jó hozzájuk dörzsölődjék; de a fölötte nagy súrlódás kikerülendő.

A vánkosok fémlapjai mindig vezető összeköttetésben vannak a földdel. Mert, a mint fönnebb láttuk, a dörzsölés alatt a villámosságnak mindkét neme fejlődik ki: a korong igenleges- és a vánkosok nemleges villámosságot nyernek. Ha a nemleges villámosságot el nem vezetnők, akkor ez az üveg igenleges villámosságát neutralisálná. A nemleges villámosság elvezetésére szolgál a *b* fémív, mely azt a tengely és az A vezető-oszlopon át a földbe vezeti.

A gép harmadik főrészét, a conductort, a C üvegoszlop tartja. A conductor üres rézgömbből áll, mely vízszintesen át van fúrva, e nyilásba eresztett rézcső egyik oldalán a csavarható *c* rézgömböt tartja és a másikon a *d* rézívet, melyre a szivó csúcsok vannak alkalmazva. Ezen ív vízszintes tengely körül forogható, és a megcsavart *c* gömb által bármily állásban megerősíthető.

A *d* ív végeire erősített szivók üres rézhengerekből állanak *e*, *e'* (270. ábra), melyeknek a korong felé álló részük félig el van vágva.

Az éleken kivül egy sor finom csúcs szíjja (a fönt adott értelemben) a korong villámosságát a conductorba.

Célszerűnek mutatkozott, hogy a szivók és a vánkosok közti üveglap szigetelővel be legyen takarva, azért a vánkosokra viasz-tafetadarabokat szokás erősíteni, melyek gyöngén a koronghoz szoríttatnak.

A gép működése könnyen áttekinthető. A korong azon részén, mely a vánkosokhoz dörzsölődik, igenleges villámosság képződik. E villámosság ott marad, mig a szivókhoz ér, hol influentia által a conductor villámosságát szétválasztja; az igenleges a legtávolabb levő részben, a nagy gömbben gyűl össze, mig a nemleges, az éleken és csúcsokon kiszivárogván, a korong villámosságát neutralisálja; ez történik a korong mindkét oldalán, mert a vánkosok, valamint a szivók, párosan vannak alkalmazva.

Ez által a conductor rövid idő multával megtelik, még pedig igenleges villámossággal, mely bármily célra, például a már fönt leírt kisérletekre alkalmazható.

3. **A Holtz-féle influentia gép.** — 1865-ben két német physikus, Holtz és Töpler, egymástól függetlenül oly villámgépet mutattak be a tudományos világnak, mely az eddigieket meglepő mértékben felülmúlja. A forgatásra felhasznált munka, úgy látszik, majdnem teljesen átváltozik villámos erélylyé. E gépekben nem dörzsölés által állítatik elő a villámosság, hanem távolhatás, influentia által; azért a dörzsölésnél különben fejlődő nagy mennyiségü melegre itt munkát nem kell pazarolni. A forgatásra használt igen csekély munka elegendő, hogy a gép lövelje és szórja a villámosságot minden felé.

A Holtz gépe gyakorlatiasság tekintetében felülmulván Töplerét, az elsőé terjedt el nagy gyorsasággal világszerte.

Holtz gépének szerkezete a következő:

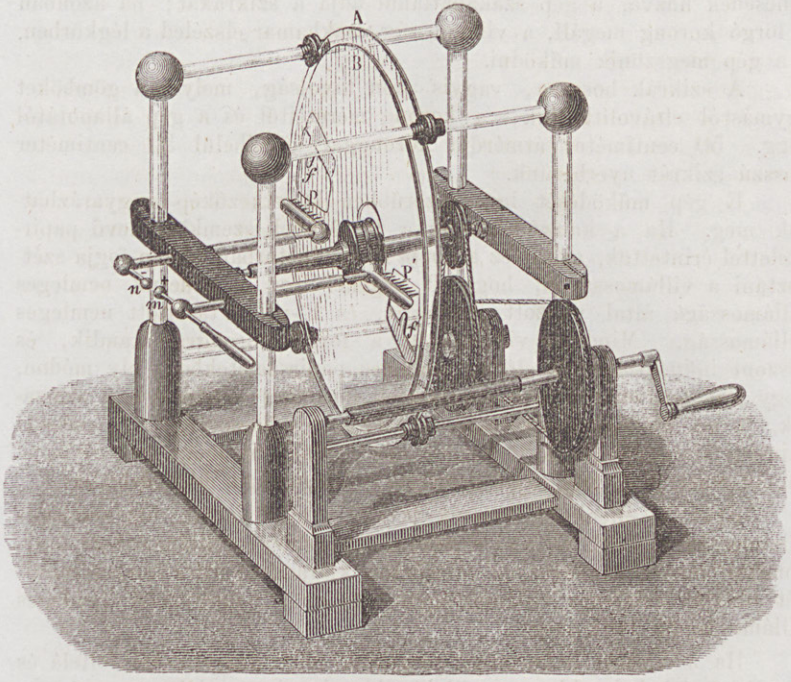
Faalzaton négy üvegoszlop függélyesen áll (271. ábra), kettő-kettő alant és fenn vízszintes üvegrudakkal van összekötve, melyek a függélyes üvegoszlopok alsó és felső fafoglalóiba illesztvék. Mindenik üvegrúdra, körülbelül a közepén, kemény kaucsukból készült, s karimáján körül árkolt gyűrű van húzva, ez csavarmenetűleg kissé ide-oda mozdítható.

E négy kis gyűrű arra való, hogy árkolt karimáján az A vékony üvegkorongot függélyes állásban tartsa, és ha kell, azt kissé ide-oda mozditsa.

Az A korongon, egymásnak átellenében *f* és *f'*-nél, két egyforma nyilás van; és azon kivül az A korong közepéből egy köralaku darab is ki van vágva, melynek átmérője valamivel nagyobb, mint a B korong foglalójának átmérője. A nyilások mellé hengeralakú, keskeny papir van ragasztva, melyekből hegyesre metszett kártyapapír-szalag nyúl be a nyilás közepe tájáig.

A négy gyűrű által rögzített A koronggal szemben s hozzá oly közel, a mennyire érintkezés nélkül csak lehetséges, van a B korong illesztve, mely szintén vékony tükörüvegből készült és melynek átmérője valamivel kisebb, mint az A korongé. A B korong forgató

271. ábra.



segélyével saját síkjában gyors forgásba hozható. A forgás tengelye, valamint az ezt tartó gerendák szigetelő, kemény kaucsukból vannak készítve.

A két keresztgerenda közül, melyek az üvegoszlopokra vannak erősítve, az egyik a forgási tengelyen kivül még két elszigetelt conductort tart, melyek egész a forgó korongig nyúlnak, s melyek fésű módjára, a korong felé irányzott fémszögekkel vannak kirakva. Némely gépnél e két fésűn kivül még kettő van alkalmazva, ezektől egy körnegyed távolságra. A conductorok végei *m* és *n*, az itt átpattanó szikrák szabályoztatása végett, tetszés szerint egymáshoz közelíthetők, vagy egymástól eltávolíthatók.

A gép megindítására a vezetők végeit, az *m* és *n* gömböket, egészen összetoljuk; az egyik papirlepényhez, például *f*-hez macska- vagy rókabőrrel dörzsölt kemény kaucsuk-lemezt illesztünk, mialatt a forgatóval a mozgó korongot a papir-lepényekről csüngő szalagvégekkel ellenkező irányban forgatjuk. A fésűk tájáról azonnal sajátszerű pisszegés hallatszik, mely a fésűhegyekből a forgó korongra ömlő villámosságtól származik. Ekkor a gép meg van töltve, és a kaucsuklemezt, melynek csekély villámossága töltőszerül szolgált, a papirlepénytől elveszszük. Ha már most az érintkező vezetővégeket egymástól eltávolítjük, azonnal erős szikrák pattognak át a végek között.

Mindaddig, míg a korong forog és a vezetők túlságosan szét nincsenek húzva, a gép szakadatlanul adja a szikrákat; ha azonban a forgó korong megáll, a villámosság csakhamar elszéled a légkörben, s a gép megszünik működni.

A szikrák hoszsza, vagyis azon távolság, melyre a gömböket egymástól eltávolíthatjuk, a korong méreteitől és a gép állapotától függ. 50 centiméter átmérőjü koronggal körülbelül 30 centiméter hosszú szikrát nyerhetünk.

E gép működését legegyszerűbben következőkép magyarázhatjuk meg. Ha a kaucsuk-lemezt a P fésűvel szemközt levő papirszelettel érintettük, akkor ez a $Pnm P'$ conductorban akkép fogja szétosztani a villámosságot, hogy P végénél lesz a kaucsuk nemleges villámossága által vonzott igenleges, és P'-nél a taszított nemleges villámosság. Mindkét villámosság a forgó korongra áramlik, és viszont influentiát idéz elő az átellenes papirszeletekben, oly módon, hogy a P átellenében lévő papirszelet nemleges villámossága vonzatik, és az igenleges taszíttatik, e taszított villámosság az f csúcson szintén kiáramlik és a B korong ezen oldalát is igenleges villámossággal tölti meg, míg saját nemleges villámossága megerősbödik.

Épen az ellenkező történik P'-nél, a mint láttuk, ott nemleges villámosság áramlik ki, s ez a papirszelet igenleges villámosságát fogja vonzani, míg a nemleges az f' csúcson kiáramlik; itt a korong mindkét oldalán nemleges villámossággal, és az f' papir-szelet igenleges villámossággal telik meg.

Ha már most a korongot forgatjuk, úgy, hogy P-nél fölfelé és P'-nél lefelé halad, akkor egy fél körülforgás alatt a leírt tünemény a korong minden pontján ismétlődik; úgy, hogy ha a P-nél volt rész most P'-nél van, akkor a PBP' félkorong belül és kivül igenleges villámossággal van megrakva, míg az első rész nemleges villámosságot tartalmaz.

A korong folytatott forgatásánál, nemleges villámosság kerül P és f közé, és igenleges P' és f' közé. Ez által P és f-ben a nemleges villámosság taszíttatik és a vonzott igenleges villámosság neutralizálja a korong nemleges villámosságát; minthogy ez által f még több igenleges villámosságot veszt, nemleges töltése megerősbödik. A P' és f' közé kerülő igenleges villámosság által pedig f' igenleges villámossággal telik meg, mert nemleges villámossága a csúcson kiáramolván, a korong igenleges villámosságát neutralizálja.

A töltés ezen erősbödése folytán, párszori körülforgatás után, a villámosság a vezetőben oly sűrűséget ér el, hogy az m és n gömböket egymástól eltávolíthatjuk, anélkül hogy a gép működése félbeszakíttatnék, mert az ellentétes villámosságok nagyobb levegő-rétegen át is egymásba áramlanak.

A gép ezen magyarázatánál a két üvegkorongban előidézett influentia nincs számba véve, mert ennek szerepe a gép működésében még nincs a kellő határozottsággal kimutatva.

E gép működése feltünő nem csak azért, mert sokkal nagyobb mennyiségü villámosságot szolgáltat, mint az előbbiek, hanem különösen azért, mert dörzsölő anyag nem lévén, úgy látszik, mint ha a töltésre használt csekély villámosságból végtelen mennyiségűt lehetne előállítani, munka felhasználása nélkül. A forgató figyelmét azonban ki nem fogja kerülni azon munka-különbség, melyet a gép forgatása igényel, ha üres, vagy ha villámossággal meg van töltve; e munkakülönbség az, mely a villámosság előállítására fordíttatik. Hogy ez csakugyan így van, arról a megfordított műtét által győződhetünk meg. Ha ugyanis az *m* és *n* gömbökből kiáramló villámosságot egy második gép fésü-hegyeire bocsátjuk, mely gépnél a korong a forgatóval nincs kapcsolatban, az áramló villámosság az egyszer megindított korongot forgásban megtartja.

Látjuk tehát, hogy ép úgy, mint mechanikai munkát hővé és viszont hőt mechanikai munkává alakíthatunk át: úgy a mechanikai munkából villámosságot és a villámosságból mechanikai munkát nyerhetünk. De hogy minő viszony létezik a befektetett munka és a termelt villámosság között, vagyis hogy mi a villámosságnak mechanikai egyenértéke, még nem tudjuk. De az itt leírt tüneмény, valamint a még később leirandók, a melyekből ezen összefüggést még sokkal világosabban fogjuk látni, elvitázhatatlanul bizonyítják, hogy a villámosság más, mint a hőhöz hasonló elemi mozgás nem lehet. A jövőre kell bíznunk a villámos tüneményeknek a mozgáselméletből folyó magyarázatát.

HATODIK FEJEZET.

A villámosság kisütése és a kisütés hatása.

I. A villámáram.

Fönnebb láttuk, hogy villámossággal megtöltött vezető villámosságát azonnal elveszti, ha a földdel vezető-összeköttetésbe hozzuk; a villámosságnak e rögtöni eltünését kisütésnek nevezzük. A jelen fejezet föladata a kisütés tüneményét, valamint a villámosság hatását a kisütés alatt, tanulmányozni.

Valahányszor kevésbbé villámos testet nagyobb sűrűségü villámossággal biró testtel érintünk, azt tapasztaljuk, hogy a villámosság egy része a másodikról az elsőre megy át. Ebből következik, hogy a kisütés alatt a villámosság — nagyobb sűrűségü pontokról kisebb sűrűségüekre haladván — a vezető testen végig fut. E mozgó villámosságot villámáramnak, nevezetesen a kisütés áramának fogjuk nevezni. Ilyen áramot nyerünk, ha nagyobb sűrűségü villámossággal biró testet kisebb sűrűségüvel hozunk vezető-kapcsolatba; de tökéletes kisütés csak akkor áll be, ha a villámos testet a földdel kapcsoljuk össze, melynek villámos sűrűsége mindig semmi.

A kisütésnek még egy másik nemét tanultuk ismerni, mely akkor áll be, ha két, ellenkező villámossággal biró testet kapcsolunk össze. A villámosságok kölcsönös vonzása következtében a vezetőn áthaladva, egymással egyesülnek, miáltal hatásukat elvesztik. Ilyen kisütés áll be, ha valamely villámgép conductorát a dörzsölő anyaggal kapcsoljuk össze, és a villámgépet működtetjük; és akkor, ha valamely gyűjtőkészülék belső felületét a külsővel összekapcsoljuk. Az első esetben a conductorban előidézett villámosság azonnal átfolyik a dörzsölőbe, míg a dörzsölő villámossága a conductorba áramlik át. A gyüjtőkészülékekben a belső felület villámossága a külső felületre, és a külső felület villámossága a belsőre áramlik. Mert a mint a belső és külső felületet összekapcsoljuk, a belső felület szabad villámosságának egy része a vezetőbe megy át, úgy hogy a külső felületen is származik szabad villámosság, mely szintén a vezetőbe áramlik; a külső felület szabad villámosságának gyengítése által új villámosság lesz szabaddá a belső felületen, melynek egy része ismét a vezetőbe áramlik, és így tovább, míg nem az összes villámosságok egyesültek.

Ezeknél fogva a kisütés ez utóbbi neménél kettős áram származik. Azonban a kisütés első neménél is ugyan e kettős áramot kell föltételeznünk, mert a kisütés már bekövetkezik, még mielőtt a földdel összekötött vezetőt a villámos testtel érintjük, a közelítésnél t. i. már nagyobb távolságban szikra kiséretében történik, mely szikra, az influentia elmélete alapján, szintén két ellenkező villámosság kiegyenlődése.

Igy tehát a kisütés két nemét azonosíthatjuk, és ép úgy, a mint mondjuk, hogy az érintés által a test villámosságát a földbe vezetjük, egyszerüség kedvéért fölvehetjük, hogy csak egy villámáram származik, melynek iránya meg van határozva azon felvétel által, hogy a villámosság nagyobb sűrűségü pontokból kisebb sűrűségüekbe megy át.

II. A villámszikra.

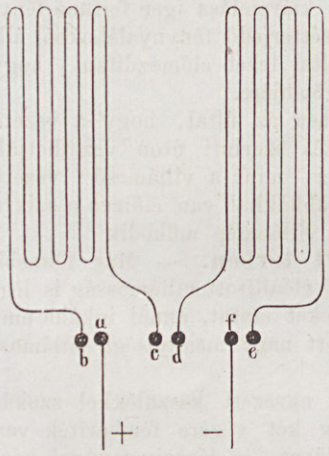
1. **A szikra hoszsza.** — A mint említve volt, a kisütés, a vezetőnek a villámos testhez való közelítése alkalmával, már nagyobb távolságra bekövetkezik. Azon távolságot, melynél a szikra átcsap, a szikra hoszszának nevezzük.

A kisérletek azt mutatják, hogy a szikra hoszsza igen különböző, ama pontok villámos sűrűsége szerint, melyeken a kisütés bekövetkezik. Ha egy conductort megtöltünk, és hozzá a földdel érintkező és gömbben végződő drótot közelítünk, akkor a kisütés annál nagyobb távolságban következik be, minél több villámosságot vezettünk a conductorba, tehát minél nagyobb a conductor villámos sűrűsége. Ugyan ez mutatkozik a gyűjtőkészülékeknél: mennél nagyobb a villámosság sűrűsége a leydeni palack belső felületén, annál hosszabb a szikra.

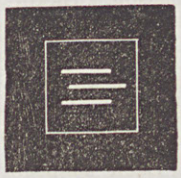
Riess kisérleteiből következtette, hogy a szikra hoszsza, különben egyenlő körülmények közt, egyszerüen a kisütés helyein lévő villámosság sűrűségével arányos.

5. **A villámosság sebessége.** — Wheatstone fönnebb leírt módszerét a vezetőkben haladó villámosság sebességének meghatározására használta. Képzeljünk egy hosszú drótot háromszor szétvágva, kétszer közel a végekhez és egyszer a közepén, és az így származott végeken golyókat alkalmazva, melyek vízszintes vonalban állanak (272. ábra). A keresztül bocsátott villámszikra látszólag ugyan egyszerre megy mind a három golyópáron át, de ha gyorsan forgó tükörben vizsgáljuk a széthúzott képeket, akkor a középső szikraszalag a két szélsőhöz képest a forgás irányában el van tolva, mint a 273. ábra mutatja.

272. ábra



273. ábra.



Ebből következik először, hogy a két végen a szikra egyszerre csap át, tehát hogy az áram mozgása nem egyoldalú az egyik sarktól a másikig, és másodszor, hogy bizonyos idő szükségeltetik arra, mig a villámosság a végektől a drót közepéig ér. Ezen út 402 méter volt; s minthogy a középső szalag eltolása $^1/_2$ fokra becsültetett, a tükörnek másodpercenkénti 800 körülforgásánál, azért a villámosság sebességére nyerjük a következő értéket:

$$402 : \frac{1}{4{,}800.360} = 463{,}133 \text{ kilométer}$$

a mi körülbelül 62,000 mértföldet tesz.

Habár ezen érték több ezer kilométerrel eltérhet a valóditól, mivel a $^1/_2$-foknyi szög csak a becslés utján volt meghatározható, mégis látjuk belőle, hogy egyrészt a villámosságnak elterjedésére idő szükséges, és másrészt hogy ezen idő földi méreteinknél alig jöhet számba.

6. **A szikra alakja.** — A villámszikrák, melyeket gyenge villámgépből kis távolságokra nyerünk, rendesen egyenes vonaluak, a kiinduló helyeken valamivel szélesebbek, mint a középen.

Hosszú villámszikrák azonban a legkülönbözőbb alakokat vehetik fel, legtöbbször szabálytalan cikcak-alakúak, melyek feltünően hasonlítanak a villámhoz. Vannak oly erős villámgépek, melyek 5—6 deciméter hosszú szikrákat adnak; e szikrák rendesen gyökér-alakú ágazatokat mutatnak, melyeknek főtörzsük változó vastagságú; itt a szikra a conductor kis gömbjéből a kisütő nagyobb gömbjébe csap át.

A szikra szine részint a fémek tulajdonságától függ, melyek között a szikra átcsap, részint azon gáztól, melyen áttör. Levegőben a közönséges villámgép szikrája kékes, hydrogenben Faraday szerint vöröses, szénsavban zöldes s í. t.

Ha erősen működő villámgép conductora kis gömbben végződik, akkor folyvást áramlik ebből villámosság a levegőbe, ez jellemző pisszegéssel történik, a mi sötétben észrevehető szikrákból származik. A kiáramlást tetemesen növeszthetjük, ha a golyó közelébe a földdel összekötött jó vezetőt tartunk, de oly távolságra, hogy szikra át ne csaphasson. Ekkor a villámosság kiáramlása igen feltünő fénytüneményt mutat, mely sugáralakulag szétterjedő fénynyalábokból áll. Gyöngébb gépeknél e kisugárzást az által lehet előmozdítani, hogy vékony rézpálcát állítunk a conductor gömbjére.

A villámszikrát sokszorosítani lehet az által, hogy a vezető drótot félbeszakítjuk. Ily módon tetszés szerinti úton vezethetjük a szikrát. Ezen alapszik több játékszer, mint a villámcső: vezető végekkel ellátott üvegcsövön kis fémdarabkákkal van előírva a szikra útja, mely út mindaddig fénylik, mig a villámgép működik.

7. **A villámszikra légritkitott térben.** — Már fönnebb láttuk, hogy a közvetetlen dörzsölés által előállított villámosság is légritkított térben igen szép fénytüneményeket mutat, annál inkább mutatkozik ez a villámgépek által előállított nagy mennyiségü villámosságnál.

E kisérleteket a villámos tojásnak nevezett készülékkel szokás végrehajtani. Egy elliptikus üvegedény két végére fémboriték van erősítve, melyek egyike csappal van ellátva, és légszivattyúval hozható kapcsolatba; a másikban légmentesen jár egy gombban végződő fémrúd. Ha e készülékből a levegőt lehetőleg kiszivattyúzzuk, úgy hogy nyomása 3—4 milliméter higanyoszlopot túl nem halad, és az alsó fémburkolatot a földdel összekötjük, akkor ívalakú széles, homályos viola fénynyalábok töltik be a tért a két gömb között, valahányszor a fölső fémborítékba a hozzá közelített conductorból szikra átcsap. Ha levegőt bebocsátunk, a fény határozottabb alakú és biborszínű lesz; minél több levegőt bocsátunk a készülékbe, annál inkább hasonlít a fénytünemény a közönséges szikrához. E fénytüneményekkel alább tüzetesen fogunk foglalkozni.

E kisérletek mutatják, hogy a villámosságok annál könnyebben egyenlődnek ki, minél kisebb az ellentállás, de hogy élénk fénytünemény létesüljön, ellentálló közegre van szüksége. A ritkított gázokban ezen ellentállás gyönge, és azért a szikra könnyen csap át, de gyenge fénynyel.

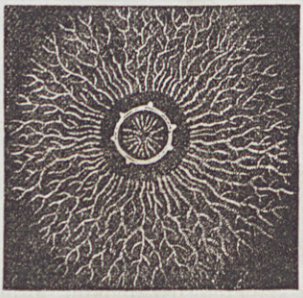
Ha azonban minden közeg hiányzik, mely a villámosság terjedését eszközölje, akkor szikrát nem nyerünk, bármily közel is tartsuk a vezetők végeit egymáshoz.

8. **Lichtenberg-féle alakok.** — Az itt leirandó kisérletek ismertetésükkor nagy feltünést okoztak, mert bennük a villámosság két neme között lényeges különbség mutatkozik.

Ha kénvirágot és ép oly finom miniumport keverünk össze, egymáshoz való dörzsölésük által a kén nemleges, a minium igenleges villámosságot nyer. Ha gyanta vagy kemény kaucsuklemezre igenleges villámossággal töltött leydeni palack gombjával vonalakat rajzolunk, és a lemez más helyein nemleges villámossággal töltött palackkal teszszük ezt, és ezután a kén és minium keverékét egyenletesen szitáljuk a lemezre, akkor a kén az igenleges villámossággal telt részekre rakódik, míg a minium a nemlegesekre, úgy, hogy igen tisztán lehet megkülönböztetni az igenleges sárga vonalakat a nemleges vörösektől. A porok elhelyezkedése lényegesen különbözik egymástól: a kén sugáralakulag szétágazó vonalakat képez, mig a minium kerek alakokat mutat.

E különbség határozottabb Lichtenberg eredeti kisérleténél, melynél a villámosság szikra alakjában megy át a lepényre; igenleges villámosságnál az alak egy középpont felé tartó sugárrendszerhez hasonlit (274. ábra). Ha a szikra nemleges villámosságból származik, akkor az alak sugárnélküli zárt kör, mely sokkal kisebb területet foglal el, mint az igenleges alak.

274. ábra.



Riess ezen alakok közötti különbséget nem a villámosság két neme fajlagos különbségének tulajdonítja, hanem annak, hogy a szikra a lepény fölötti levegőt és vízgőzt széthajtván, ez utóbbinak dörzsölése által a lepény (Faraday kisérletei szerint) nemleges villámosságú lesz. Ez által az igenleges villámosság a nemleges villámossággal preparált lapon szétterjedhet, mig a nemleges villámosság kisebb körre szoríttatik.

9. **A villámszikra sikamlása.** — Antolik Károly, aradi tanár, a villámszikra útját megrögzítvén, igen érdekes alakokat nyert. Egy üveglemez két végére csúcsokban végződő staniollemezeket ragasztott, ezeket síma papirossal beburkolván, az egész lemezt bekormozta. Ha e lemezt a Holtz-féle villámgép gömbjei közé helyezzük, és a gépet megindítjuk, akkor a szikra átcsap a lemezre, három, gyakran öt, körülbelül párhuzamosan tekerődző vonalat rajzolván. E vonalaktól jobbra-balra kúpalakú nyúlványok terjednek el. Antolik és utána már többen e kisérleteket a legkülönbözőbb módon megváltóztatták; ezekből kiderül, hogy a meglepő rajzok tisztán a szikra

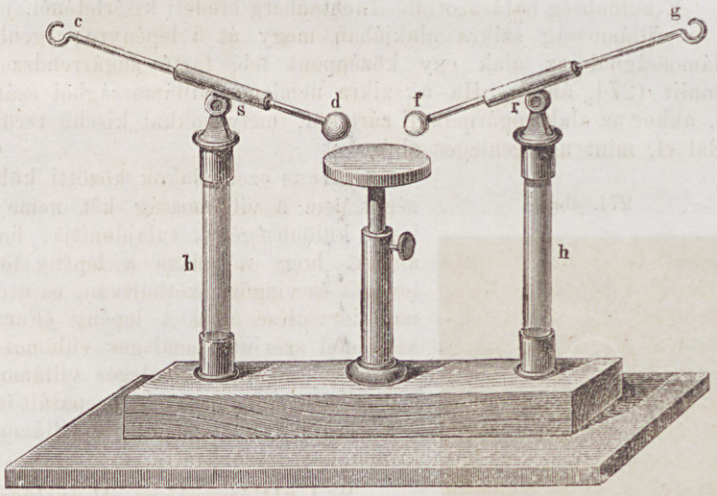
által szétszorított levegő mozgásának tulajdonítandók. A párhuzamos vonalak pedig onnan származnak, hogy a szikra nem egy pontból áramló villámosságból áll, hanem nagy számú pontcsoportból, részint egyidejüleg, részint (a szikra tartama alatt) egymásután induló elemi szikrákból. Az elemi szikrák egymásutániságát Feddersen bizonyította be, és hogy több pontból indulnak ki, azt nagyobb szikráknál szabad szemmel és kisebbeknél górcsővel láttam.

III. A villámszikra mechanikai hatása.

Hogy a villámszikra nagy erővel csap át a levegőn, már a csattanásból következtethetjük, mely az áttört levegő hullámzásából származik. És ép úgy mint a hasonló hanggal járó explosio tetemes szilárdságú testeket szétvetni képes, úgy a villámszikra is szétrepeszti az útjába állított szigetelő testeket.

E kisérletekre az általános kisütőnek nevezett készüléket szokás használni. E kisütő, mint a 275. ábra mutatja, két, egy-egy

275. ábra.

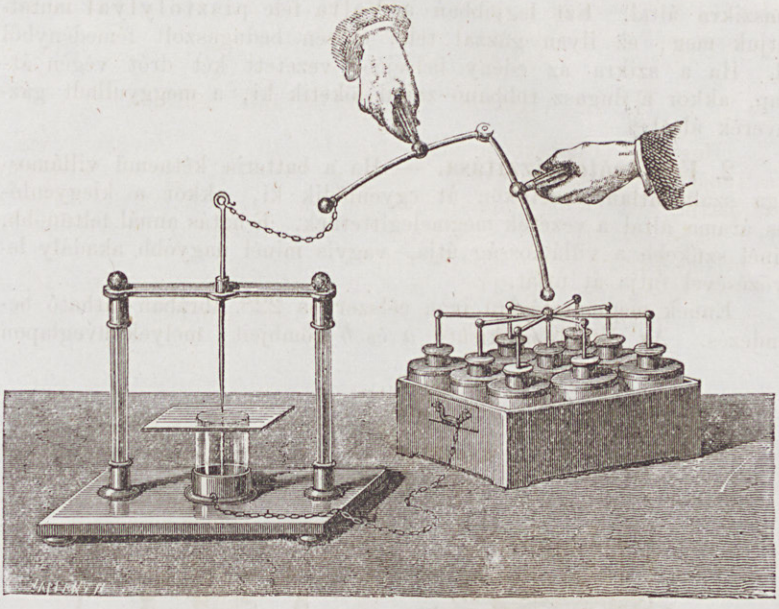


gömbben végződő rézrúdból áll, mely rudak szigetelő oszlopokon, forgathatóan megerősített tokokba vannak illesztve; a rudak kihuzása vagy betolása által a gömbök egymáshoz közelíthetők vagy egymástól eltávolíthatók. Az egyik rúd, például cd, fémlánccal a batteria külső felületével kapcsoltatik össze, a másik a fönnebb leírt kisütők egyik gombjával. Ha a szikrát át akarjuk bocsátani, e kisütő második gombját a batteria belső felületéhez közelitjük.

Ha a gömbök közé kártyalemezt állítunk, akkor a szikra átcsap rajta, igen kis lyukat fúrva a papirosba. E kisérletet igen kényelmesen lehet a Holtz-féle géppel végrehajtani, melynél a kisütő fölösleges.

A szikra nem csak papiroson, hanem sokkal szilárdabb testeken, mint például üveglemezen, is áttör. E kisérlet legjobban a 276. ábrában jelzett módon hajtható végre. Az üveglemez üveg-

276. ábra.



hengerre helyeztetik, melynek tengelyén csúcsban végződő fémpálca emelkedik a lemezig. Ehez hasonló, elszigetelt fémpálca a lemez külső felületéhez ér. A pálcák egyike a batteria külső, és másika belső felületével áll vezető összeköttetésben. Ha elég erős batteriát használunk, akkor a villámszikra áttör az üvegen; a származott lyukban az üveg finom porrá van zúzva. Gyakran megesik, hogy a szikra nem csap át az üvegen, hanem megkerüli, és ha az egyszer megtörtént, más lemezzel kell a kisérletet ismételni, különben a szikra rendesen előbbi útján síkamlik át.

IV. A szikra physikai hatása.

1. **Gyulékony testek meggyújtása.** — Ha valamely conductorból újjunkkal szikrát húzunk, akkor hőhatást nem tapasztalunk; a legnagyobb szikra sem képes a mellette álló hőmérőre észrevehető hatást gyakorolni. Azonban e negativ eredményekből nem következtethetjük, hogy a szikrának hevítő hatása nincs, hanem azokat a tünemény csekély tartamának kell tulajdonítanunk. Csakugyan, ha a szikra gyulékony testeken csap át, meggyujtja őket.

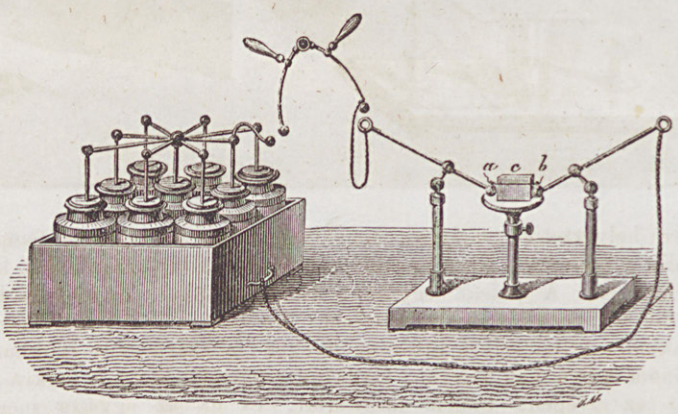
A legkisebb szikra meggyújtja az aethert. Ennek megmutatására legegyszerűbben aetherrel telt fémedényt a villámgép conductorára állítunk, és az aether felületéhez vezető testet közelítünk. Meglepőbb a kisérlet, ha vezetőül újjunkat használjuk.

Az explosiv gázok szintén igen könnyen meggyujthatók a villámszikra által. Ezt legjobban a Volta-féle pisztolylyal mutathatjuk meg, ez ilyen gázzal telt, erősen bedugaszolt fémedényből áll. Ha a szikra az edény belsejébe vezetett két drót végén átcsap, akkor a dugasz robbanó zajjal löketik ki, a meggyulladt gázkeverék által.

2. **Fémdrótok izzítása.** — Ha a batteria kétnemű villámossága szakadatlan vezetőkön át egyenlődik ki, akkor a kiegyenlődés árama által a vezetők megmelegíttetnek. E hatás annál feltünőbb, minél szükebb a villámosság útja, vagyis minél nagyobb akadály legyőzésével futja át útját.

Ennek megmutatására igen célszerű a 228. ábrában látható berendezés. Az általános kisütő *a* és *b* gömbjeit, melyek üveglapon

377. ábra.

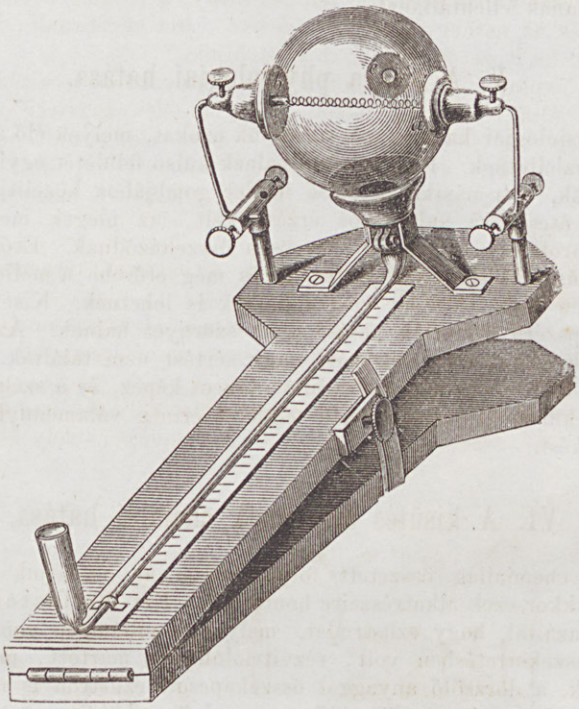


nyugszanak, vékony drótokkal kötjük össze. Azon pillanatban, melyben a szikra átcsap, a drót anyagának minősége szerint megvörösödik, megolvad vagy elég, és a melléje állított *c* papirszeleten hagyja e hatás nyomát.

3. **A hőhatás törvényei.** — A villámosság hőhatásának tanulmányozására Riess a 278-ik ábrában lerajzolt léghőmérőt használta.

Az *abc* üveggömb három oldalán át van fúrva. Az *a* és *b* nyilások egymással szemközt vannak, és átfúrt rézboritékokkal vannak felszerelve, melyeken a rugóalakú platinadrót meg van erősítve. A *c* nyilás szintén rézborítékkal bír, melynek nyilása bedugaszolható.

278. ábra.



A gömbre szűk csatornájú üvegcső van forrasztva, mely osztályozott deszkára van erősítve. A cső fölfelé álló tölcsérben végződik. A deszkával a csőnek tetszés szerinti lejtős helyzetet adhatunk. Ha a tölcsérbe színes folyadékot öntünk, ez a csőben bizonyos magasságig fog emelkedni. Ha az egyensúly helyre állt, és a külső levegőt a belsőtől, a *c* nyilás bedugaszolása által, elzártuk, akkor a platina-dróton át kisütő-áramot vezetünk. Ezáltal a drót megmelegszik, s e melegséget a levegővel közli; ez kiterjedvén, a folyadékot annál távolabb tolja kifelé a csőben, minél magasabb lesz mérséklete.

E készülékkel tett nagyszámú kisérletekből következik:

1. A drót megmelegedése arányos a villámosság mennyiségének négyzetével; és fordított arányban van a batteria felületével.

2. A megmelegedés a drót átmérőjének negyedik hatványával visszás arányban van.

3. A drót megmelegedése hoszszával arányos. S minthogy a kisütés tartama visszás arányban van a drót hoszszával, e törvényt így is fejezhetjük ki: a megmelegedés a kisütés tartamával visszás arányban van.

4. Különböző anyagok azon arányban melegednek, melyben a villámáramnak ellentállanak.

V. A szikra physiologiai hatása.

Physiologiai hatásoknak nevezzük azokat, melyek élő állati szervezeten észleltetnek. Ha a leydeni palack külső felületét egyik kezünkkel érintjük, és a másikat a belső felület gombjához közelítjük, akkor a szikra átcsapása sajátságos érzést kelt, az idegek megrendítése által a karok egy pillanatig görcsösen összehúzódnak. Erős töltéseknél a hatás a fölső karba is terjed, és még erősebb a mellet támadja meg. Igen erős töltések veszedelmesek is lehetnek. Kisebb állatok már középszerű batteriák hatása alatt szörnyet halnak. Az így megölt állatok szervezetén változást vagy sértést nem találtak.

Ha több személy összefogódzva láncot képez, és a szélsők egyike a palack külső, és másika belső felületét érinti, valamennyi egyszerre érzi a lökést.

VI. A kisütés áramának chemiai hatása.

Ha chemiailag összetett folyadékokon át bocsátjuk a kisütés áramát, akkor ezek alkatrészeire bontatnak. Ezt Wollaston bizonyította be azáltal, hogy ezüstrudat, mely egy villámgép conductorával vezető összeköttetésben volt, rézvitrioloídatba mártott, melybe még egy másik, a dörzsölő anyaggal összekapcsolt ezüstrúd is merült. A gép működése után a dörzsölő anyaggal összekötött ezüstrúd rézzel volt bevonva. A conductorral összekötött rúdon kénsav fejlődött, a mi a rudak felcserélése által bizonyíttatott be, mert ekkor az előbb lerakódott rézfelület az ezüstrúdról eltünt.

Ép úgy sikerült Wollastonnak a vizet szétbontani, de mindkét sarkon oxygen és hydrogen is mutatkozott.

A szikra is idéz elő a levegőben chemiai változást; ha gyakran csap át nedves levegőn, mindig csekély mennyiségü salétromsav képződik. Egyidejüleg sajátságos szag terjed el, mely Schönbein szerint az oxygenből származó Ozon szaga.

A villámáram itt érintett, valamint delejes hatását a következőkben részletesen fogjuk tanulmányozni; ott oly módszerekkel fogunk megismerkedni, melyekkel állandó villámáramokat állíthatunk elő.

HARMADIK SZAKASZ.

A villámáramok.

ELSŐ FEJEZET.

A villámáram keletkezése.

I. A galvanismus.

Ismét egy, a szerencsés véletlen által felfedezett, és „az ész ereje által megtermékenyített“ alaptünemény van előttünk.

Galvani, az anatomia tanára, Bolognán 1790-ben nagy meglepetésére azt észlelte, hogy nem rég leölt békák combjai élénken rángatódznak, ha nem messze tőlük villámszikra keletkezik. E tüneményt bármikor és bármily állattal sikerült; akár az állaton keresztül ment a villámosság, akár csak mellette csapott át a szikra.

E tünemény magában véve igen egyszerű, és a villámosságnak már akkoriban ismert tulajdonságaival összevág. Ugyanis már ismeretes volt a villámosság influáló hatása, és tudták, hogy az influált villámosságok rögtön kiegyenlődnek, ha az influáló villámosságok kiegyenlődnek. Tehát a szomszéd vezetőben villámos tünemények mutatkozhatnak. Hogy ha tehát azt a tüneményt egy, a villámosság tanait teljesen ismerő physikus fedezte volna fel, akkor legföllebb a békacomb érzékenysége mint electroscop tünt volna neki fel, és ezzel bizonyára beérte volna.

Azonban Galvani, igen alapos anatom, a villámossággal nem igen foglalkozott, s azért a békacombok rángatódzását rendkivüli tüneménynek tartotta. Számos kisérletet tett e tünemény tanulmányozására. A többi között meg akarta vizsgálni, hogy vajjon a légköri villámosság befolyással van-e a tüneményre. E célból rézkampók segítségével több ily békacombot vasfogazatra akasztott. És ez egy új és valóban nagy fontosságú tünemény megismerésére vezetett. Galvani ugyanis azt látta, hogy valahányszor a békacomb alsó izma a fogazat vasával érintkezett, a rángatódzások még élénkebbek, mint a villámos szikra által okozottak. Könnyű volt meggyőződni, hogy itt a légköri villámosságnak szerepe nincs. Mindenkor és mindenhol bekövetkeztek a rángatózdzások, ha a comb idegét és izmát két különnemű fémmel kötötte össze.

Ezen tünemény egész Európa tudósait nagy mértékben érdekelte, és mindenütt tettek kisérleteket megmagyarázására.

Galvani, mint szellemes anatom a physiologia alaptüneményét látta benne. Akkoriban az érzésnek az agghoz való elvezetésének megmagyarázására egy, a kellő alapot nélkülöző elmélet volt elter-

jedve. Ugyanis az idegeket átható, idegfolyadéknak nevezett fluidumnak tulajdonították e képességet. Galvani ezen ideg fluidum helyébe a villámosságot helyezé. Ő felvette, hogy az állatok mindig villámosságot tartalmaznak. A positiv az idegekben, a negativ az izmokban volna; és így a fönnebbi kisérleteknél a vezető e villámosságokat kisüti, mint valamely leydeni palacknál, a mi a rángatódzást előidézi.

E nézet el is lőn fogadva, mindinkább több támogatója lett, mig Volta szigorú kisérletei által halomra dönté.

Volta, Paduában a physika tanára, mindenek előtt megmutatta, hogy az idegek és izmok ellentétes villámossága a valósággal meg nem egyező fölvétel. Ő ugyanis a két fémmel egyazon izmot érintette, és ez is szülte a görcsös összehúzódásokat. Tehát a leydeni palackkal való hasonlat megszünt. A tünemény egészen elszigetelten állott, még azt sem lehetett kimutatni, hogy a villámosságnak egyáltalában van-e szerepe benne. Volta lángesze utat tört magának e megközelíthetetlen problémához. Ő megmutatta, hogy a villámosság idézi elő e tüneményt, mely villámosság itt egy eddig még nem ismert módon keletkezik. Ő megmutatta, hogy ha két fém érintkezik, mindenkor villámosság keletkezik. És ezzel bebizonyította, hogy a két fém és nem az állati részek a tünemény előidézői, az utóbbiak a villámosság jelenlétét csak megmutatják.

Volta analogia útján vezettetett elméletére. Miután látta, hogy a villámosság tökéletesen olyan ideg-ingerületeket létesít, mint mikor két fém érintkezik: azon volt, hogy a villámosság által más ideg-ingerületeket létesítsen. És ez csakugyan sikerült is neki. Ő azt találta, hogy ha egy közönséges villámgép conductorát, mely igenleges villámossággal telik, nyelvünkkel érintünk, savanyú ízt érzünk; hogy ha pedig a nemleges villámosságot gyüjtő vezetőt tartjuk nyelvünkre, alkalikus íz keletkezik. Ugyan e hatásokat két érintkező fém is mutatja. Ugyanis ha két különnemű fémet bizonyos rendben a nyelvre teszünk, savanyú íz keletkezik. A fémek rendjének megfordítása által az íz alkalikus lesz.

Ezen analogia ugyan elég volt, hogy a figyelmet ezen irányba terelje, de teljesen meggyőző bizonyítéknak nem volt vehető. A galvanikusoknak sikerült is Volta elmélete ellen kifogásokat tenni. Azonban Volta az ellenvetéseket lángesze hatalmas erejével küzdé le addig is, míg ez kétséget kizáró tényekhez vezeté őt.

A számos ellenvetés között első helyen áll Galvani ama nevezetes kisérlete, melynél a békacombok rángatódzását nem különnemű fémek által, hanem egyazon táblából vágott két vaslemez által állította elő.

Volta e tényt akkép fűzte elmélete keretébe, hogy fölvette, hogy a két fémlemez csak látszólag egyenlő, és hogy ennek dacára lehet különbség keménységük, felületük minősége s a t. közt. És hogy ily észrevétlen kis különbségek elegendők a tünemény előidézésére, azt egy igen nevezetes kisérlettel mutatta meg. Ugyanis olyan két vaslemez egyikét, melyek a rángatódzás nyomát sem idézték elő, forró vízbe tartotta, és a másikat hidegen hagyta. Igy azután a ki-

sérlet sikerült, még pedig addig, mig a lemez teljesen ki nem hűlt. Hogy ha tehát néhány fok mérsékletkülönbség elegendő a tünemény előidézésére, annál valóbbszinű, hogy egy fémtábla részei keménységükben és felületük minőségében is eléggé különböznek egymástól.

Valli nem sokára e vita befejezése után fennen hirdette, hogy Volta elmélete egyik kisérletével ellenkezik. Valli ugyanis minden fém közvetítése nélkül állította elő a rángatódzásokat. Sajátságos, hogy a galvanisták ez által Volta elméletét menthetetlenül veszve látták.

Volta felismerte, hogy e kisérlet csak akkor sikerül, ha az állati szervezet két különnemű részét kötjük össze az idegen test által. És igy alapelvét nagy mértékben általánosíthatta, állítván, hogy nem csak a fémek, hanem más különnemű testek érintése által is keletkezik villámosság.

Azonban alapelve döntő bizonyitékát Volta csak a következő kisérletével adta, mely minden ellenvetést megnémitott, és melylyel a villámosság tanában új korszakot alkotott.

Két jól cziszolt réz és horganyból készült lemezt, szigetelő fogók segitségével, egymásra tett. Azután a két lemezt rögtön egymástól elválasztotta, hogy az egész felület egyszerre váljék le a másiktól, és a lemezeket egymásután egy szalmaszálas elektrométerre erősített gyüjtőhöz tartotta: a szalma-szálak azonnal szétváltak. A fönnebb leirt módon megvizsgálta a két lemez villámosságának nemét, és mindig azt találta, hogy a kettő ellenkező villámosságot nyer. Réz és horganynál a réz mindig nemleges, a horgany igenleges volt. A két lemez többszöri érintése, elválasztása és az egyiknek a gyüjtővel való érintése által, oly szikrákat sikerült előállitania, mint akár egy villámgéppel.

II. A fémek sorrendje.

Volta e meggyőző kisérletei után részletesen megvizsgálta a különböző testek villámos tulajdonságait. Azt találta, hogy az előállott villámosság erőssége csak az érintkező fémek minőségétől függ; a fémek, és az érintkező felület nagyságától független. A fémeket oly sorrendbe sikerült állitania, mely hasonlit az összes testek sorrendjéhez a dörzsölésnél keletkező villámosságot illetőleg. Ugyanis ha azon sorrend valamelyik féme az utánna valóval érintkezik, igenleges lesz, és a keletkezett villámosság annál erősebb, minél távolabb fémek érintkeznek. Volta sorrendje a következő: Horgany, Ólom, Ón, Vas, Réz, Ezüst, Arany, Szén.

E szerint horgany a legpositivabb fém; horgany és szén a legerősebb villámosságot adja.

Azon okot, melynél fogva két fém érintkezésénél villámosság keletkezik elektromotorikus erőnek nevezték el. Ha két fém érintkezésénél 2-szer, 3-szor nagyobb mennyiségű villámosság keletkezik,

mint más két fémnél, akkor amazok elektromotorikus erejét 2-szer, 3-szor nagyobbnak mondjuk, mint ezekét.

Volta az elektroscoppal tett mérések által megmutatta, hogy a fémek sorrendjéből összetett két elem elektromotorikus ereje változatlan marad, ha közéjök más elemeket iktatunk. Igy például horgany és ezüst bizonyos erősségü villámosságot ad, mely nagyobb, mint horgany és vasnál, de ha a horgany és ezüst közé vasat teszünk, akkor épen azt az elektromotorikus erőt nyerjük, mint ha csupán horganyt és ezüstöt teszünk össze. És így valamennyi közbe eső fémet az eredmény megváltoztatása nélkül lehetne közbeiktatni. Ebből a következő törvény foly:

A fémek sorrendjéből vett két elem elektromotorikus ereje egyenlő a közbeeső elemek elektromotorikus erőinek összegével.

A fémek sorrendjén kivül álló testek is, mint fönnebb láttuk, adnak villámosságot érintkezésüknél. Különös fontosságu a fémek és folyadékok érintkezésénél keletkező villámosság.

Azon folyadékok és fémek, melyek egymásra chemiai hatást gyakorolnak, a legerősebb villámosságot szolgáltatják; és pedig akkép, hogy a fém nemleges, a folyadék pedig igenleges villámosságot nyer. Oly fémek és folyadékok, melyek egymásra chemiai hatást nem gyakorolnak sokkal kisebb mennyiségü villámosságot ébresztenek, mint ha fém fémmel érintkezik. Hogy ha azonban a folyadék a fémet megtámadja, az utóbbinál sokkal erősebb villámosságot nyerünk. E szerint a legpositivabb fémek — a sorrend első tagjai — a legerősebb negativ villámosságot nyerik, ha folyadékokkal érintkeznek.

III. A chemiai elmélet.

1. Az épen említett tapasztalat, hogy a villámosság nagy mértékben fejlődik, ha fémet oly folyadékkal hozunk kapcsolatba, mely rá chemiai hatást gyakorol, Delarive és Faraday-t azon elmélet felállítására és kifejtésére indították, mely szerint a villámosság csupán érintés által soha sem fejlődik, hanem mindig chemiai hatás eredménye volna.

A fémek és folyadékok érintkezésénél a chemiai folyamat kétségen kivül van helyezve; de a tiszta fémek érintkezésénél is könnyen elképzelhető, hogy a levegőből magukba szitt nedvesség a chemiai folyamatot megindítja.

Ezen elméletet jelenleg már a tudósok legnagyobb része magáévá tette.

Különösen az erély megmaradása szempontjából kellett azt elfogadniok, minthogy az érintkezési elmélet alapján a villámos erőt munka felhasználása nélkül nyernők, a mi lehetetlen. A chemiai elmélet alapján pedig a villámosság hasonló módon származik, mint a melegség. Valamint a chemiai folyamatoknál a molekülök mozgása által melegség keletkezik, úgy előállanak, eddig még ismeretlen, oly molekularis mozgások, melyek hatását villámosságnak nevezzük.

2. **Chemiai egyesülésnél származó villámosság.** — Hogy chemiai egyesülés villámosságot fejleszt, azt Pouillet akkép mutatta meg, hogy egy gyüjtő-elektrométer fölső lapjára szénparázst tett, és mialatt az alsó lap a földdel vezető összeköttetésben volt, az égést oxygen vagy levegő hozzávezetése által élénkítette. Rövid idő után a felső lap nemleges villámossággal volt megtöltve. Az igenleges villámosságot is ki lehet mutatni, ha a fémtálcára tett szenet akkép tartjuk az elektrométer mellett, hogy az elszálló gázok az alsó lapot vegyék körül: a felső lap leemelése után az aranylemezek igenleges villámossággal hajlanak szét.

Ha salétromsavba két aranydrótot mártunk, semmiféle hatást sem észlelünk. De ha a drótok egyikéhez közel kevés sósavat teszünk, chemiai hatás áll be, és ennek kiséretében erős villámosság fejlődik.

Ha sav és alj likacsos választó falon át érintkezik, erős villámosság fejlődik. A sav igenleges, az alj nemleges villámosságot nyer.

Általában mind azon testek, melyek a chemiai vegyülésnél a sav szerepét játszszák, igenleges, és azok melyek az alj szerepét játszszák, nemleges villámosságot vesznek fel.

IV. Villám-telepek.

1. **A villámáram.** — Ha két ellentétes villámosságú testet vezetővel összekötünk, akkor az ellentétes villámosságok egymásfelé áramlanak. Ilyen villámos áramok keletkeznek a leydeni palack kisütésénél, s ez esetben az áramok rendkivül rövid tartamuak. Folytonos áramot nyertünk a villámgépekből, különösen a Holtz-féle gépből. Azonban a galvanismus nyujtotta módon sokkal kényelmesebben nyerjük ez áramokat, minthogy itt az elvezetett villámosságok azonnal megujulnak. Ezen áramok ugyanazon tulajdonságokat mutatják, mint az előbbiek; és azáltal, hogy hatalmas erővé sikerült őket növeszteni, fontos szerepük van a tudományban, valamint a gyakorlati életben is.

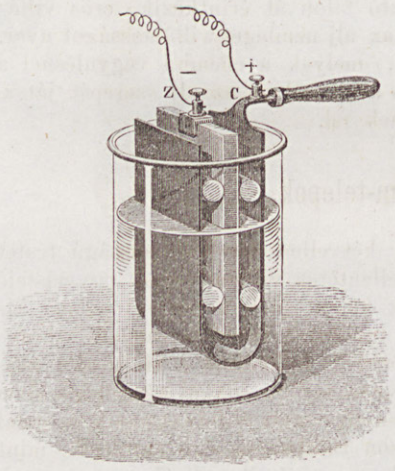
Erős villámáramokat a következő módokon lehet előállítani.

2. **Volta oszlopa.** — Már Voltának sikerült a galvanikus áramot jelentékenyen fokozni. Ő azt találta, hogy ha a fémek sorrendjében egymástól különböző két fémet egymásra teszünk, és minden következő párt az előbbitől folyadékkal elválasztunk, akkor a keletkezett villámosság annyiszor nagyobb, a hány ilyen fémpárt alkalmazunk. Ő tehát kerek réz és horgany lemezeket egymásra helyezett, és minden pár közé nedves posztószeletet tett. Ez által egy oszlopot nyert, melynek csodálatos tulajdonságai rendkivüli feltünést okoztak. Az oszlop egyik végén rézlap, és másikán horgany van; ha e kettőt, melyek az oszlop sarkainak neveztetnek, vezetővel összekötjük, villámos áramot nyerünk. Ezen áram gyenge, ha a posztószeletek tiszta vízzel vannak nedvesítve, de sokkal erősebb, ha higított kénsavba vagy konyhasóoldatba áztattuk.

Miután a sav az oszlop horganyát megtámadja, az oszlopot minden használat után szét kell venni, és a fémfelületeket gondosan megtisztítani. E kényelmetlenség elhárítására Volta később a kerek fémlemezeket, hosszukás négyszögü lemezekkel helyettesítette, melyeknek egy-egy párját savat tartalmazó üvegedénybe helyezte. Minden horganylemez a következő edény rezével volt összekapcsolva. A szélső edények egyike különálló rézlemezt és másika horganylemezt tartalmaz, amaz az igenleges, ez a nemleges sarkot képezvén.

2. **Wollaston telepe.** — Igen célszerűnek mutatkozott Wollaston berendezése; egy elemét a 279. ábra mutatja. Erős horganylemez vékonyabb rézlemezzel van körülvéve, melyeknek érintkezése közbeszorított fa- vagy parafahenger által meg van gátolva. Több elem akkép egyesíttetik teleppé, hogy közös vízszintes rúdra erősíttetik, melylyel valamennyit egyszerre lehet a savból kiemelni.

279. ábra.



Jelenleg a horganyt higanynyal vonják be. A horgany felületén így származott amalgam nem támadtatik meg a higított kénsav által, hanem ha a sarkok összekötése által az áramot megindítjuk, akkor megindul a chemiai folyamat is. Ezáltal tehát csak az áram használata alatt oldódik fel a horgany.

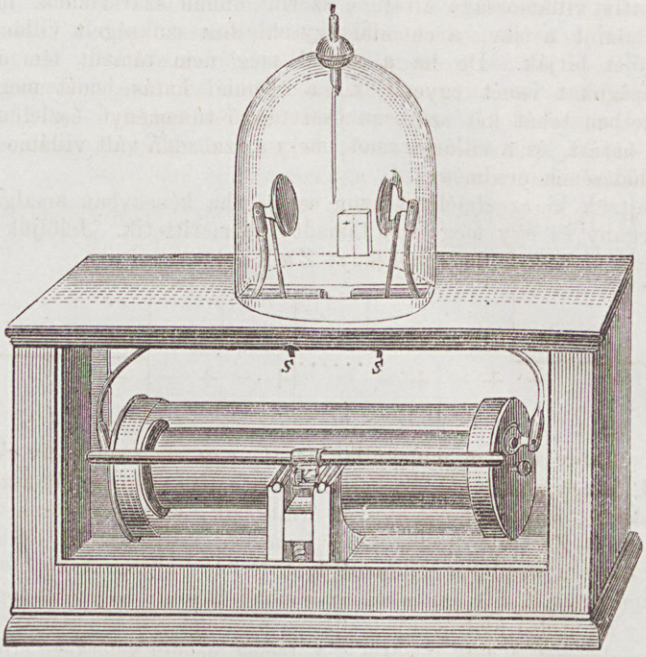
3. **Száraz villámoszlop.** — Zamboni a Volta-féle oszlophoz hasonlót szerkesztett, melyben a nedves posztószeleteket papir helyettesíti, a papir ugyanis mindig megsűrít a levegő vízgőzéből annyit, hogy gyönge villámáram megindítására elég nedves legyen.

Ezen oszlop előállítása a kereskedésben arany- és ezüst-papir nevezet alatt előforduló fémfelületü papirt igen célszerűen lehet használni. Egy-egy arany- és ezüstpapirlapot papirfelületeikkel összeragasztunk, miáltal a két oldalon különböző fémfelület van. Több ilyen lapot egymásra téve kerek acélvésűvel kis lapokat vágunk belőlük. A lapok schellakkal bevont üvegcsőbe szoríttatnak, mely cső két végén fémborítékkal el van zárva.

Ezen oszlop igen gyönge villámáramokat szolgáltat ugyan, de évekig működik megszakadás nélkül.

E száraz oszlop rendkivül érzékeny elektroscop szerkesztésére alkalmazható. Az oszlop sarkai elliptikus fémlemezekkel vannak összekötve. (280. ábra.) E lemezek közé dróton függő aranylemezke van

280. ábra.



helyezve. A drót fölső végére egy gyüjtőelektrométer alsó lapja van csavarva. A középen álló aranylemez, mely a két sark által ellentétesen villámoztatik, nyugvásban marad. De ha kivülről például igenleges villámosságot közlünk a zaranylemezzel, akkor a két sark egyesített hatásával hajlik a nemleges sarkhoz.

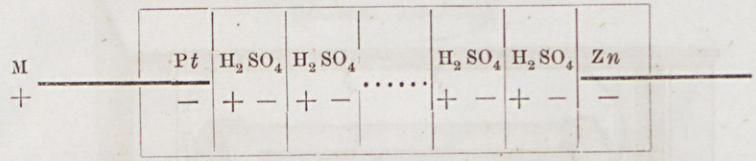
V. Az áram elméletéhez.

A chemiai egyesülés által keletkező áramok magyarázatára Ampère fölvette, hogy az egyesülés pillanatában a vegyülő testek atomjai ellenkező villámossággal telnek meg. E villámos erők következtében vonzzák egymást, és neutral villámosságú új testet képeznek. Az oxygen, a kén és a savak nemlegesek és azért elektro-negativ, a fémek, a szén és az aljak igenlegesekké válván, electropositiv testeknek neveztetnek.

Valahányszor tehát egy horganymolekül a sav által feloldatik, igenleges villámosságot nyer és így a lemez végén nemleges villámosságot bocsát ki, a mit az elektrométerrel kimutathatunk. A sav molekülje ellenben, a fémmel való egyesülése pillanatában, nemleges villámossággal telik meg, minek következtében a folyadék szabad igenleges villámosságot mutat.

A chemiai hatás megszüntetése, az amalgamirozott horgany szabad negativ villámossága által, e szerint onnan származnék, hogy a fém, valamint a sav, a chemiai egyesüléshez szükségelt villámosság ellenkezőjét bírják. De ha a savtól meg nem támadt fém által e villámosságokat ismét egyesítjük, a chemiai hatás ismét megindul. Ezen esetben tehát két szorosan összefüggő tüneményt észlelünk: a chemiai hatást, és a villámáramot, mely a szabaddá vált villámosságok kiegyenlődésének eredménye.

Fejtsük ki ez elméletet azon esetre, ha kénsavban amalgamirozott horgany és egy meg nem támadt fém meríttetik. Jelöljük a platinalemezt M Pt-vel, és a horganyt Zn N-nel:



A kénsav minden molekülje SO_4H_2 egy elektronegativ részből, SO_4-ből, és egy positivből, H_2-ből áll, mely a fém szerepét játszsza. Az első molekül, mely a horganynyal érintkezik, szétválni törekszik; a $-SO_4$ a $+Zn$ felé fordul és a lemezben villámoszlást létesít oly módon, hogy a nemleges villámosságot N-felé hajtja. A két fém közé eső valamennyi H_2SO_4 molekül az elsővel hasonló helyzetet foglal el, úgy hogy az utolsó hydrogenje a platina nemleges villámosságát vonzza és az igenlegesét M-felé taszítja. A fémek végein keletkező ellenkező feszülések határ-értéküket akkor érik el, ha az őket egyesíteni törekvő vonzás akkora, mint azon erő, mely szétválasztotta, azaz akkora, mint a horgany és sav közötti affinitás, vagy az elektromotorikus erő.

A rendszer változatlan állapotban marad meg, chemiai hatás nélkül, ha a két fém el van szigetelve; ha M és N-et vezetővel egyesítjük, akkor ZnN által már nem vonzatván, SO_4-el egyesül, miáltal H_2 szabaddá lesz. Ezen H_2 szomszéd molekülje SO_4-ével egyesül, melynek H_2-je ismét tovább megy, míg az utolsó H_2 a platinánál kiszabadul.

A következő fejezetben az így előállított áramok hatásait fogjuk tanulmányozni. E hatások háromfélékre oszthatók: a chemiai-, a melegségi- és a távol-hatásra.

MÁSODIK FEJEZET.

Az áramok chemiai hatása.

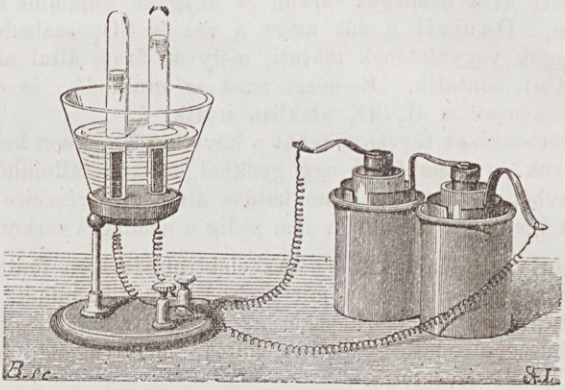
I. Elektrolysis.

1. **A víz szétbontása.** — Még ugyanazon évben, melyben Volta nevezetes oszlopát megalkotta, fedezte fel Carlisle az áram azon tulajdonságát, hogy ha vízen megy keresztül, vagyis ha a

záró vezető egy részét víz képezi, a víz alkatrészeire szétbontatik. Ő ugyanis a legfelsőbb horganylapra a vezető drót mellé történetesen egy csep vizet tett, és csodálkozására tapasztalta, hogy a drót körül gáz fejlődik. Hogy meggzőződjék arról, vajjon e gáz a víz szétbontásából keletkezik-e, számos kisérletet tett, melyekből látta, hogy a víz csakugyan szétbomlik, még pedig mindig akkép, hogy az egyik sarkon fejlődik a hydrogen és a másikon az oxygen.

A víz szétbontására a 281. ábrában lerajzolt készülék szolgál. Egy üvegedény fafenékkel van ellátva, mely két helyen át van lyu-

281. ábra.



kasztva. E lyukakon van átvezetve a két, platinalemezkéken végződő vezetődrót. Azon eprouvettában, melybe az igenleges sark van vezetve, összegyül az oxygen, a másikban pedig a hydrogen; és pedig azon arányban, melyben vízzé egyesítve vannak. Ugyanis a hydrogenből mindenkor kétszer annyi fejlődött, mint az oxygenből.

Minthogy a tiszta víz roszul vezeti a villámosságot, az áram nehezen hatja át, azért a szétbontás sokkal mohóbb, ha a vízhez kevés kénsavat teszünk, mert ezáltal jó vezetővé válik.

2. **Más testek szétbontása.** — Carlisle kisérletei után csakhamar felismerték, hogy minden, az áramot vezető folyadék vagy lágy test, az áram hatása alatt elemeire bomlik.

Faraday 1835-ben közzétette e tárgyat felvilágositó kisérleteit. Értekezéseiben e tüneményt elektrolysisnek nevezi; a szétbomló testet pedig elektrolitnak. A vezető huzalok végeit elektrodoknak nevezte, az egyik az igenleges elektrod, a másik a nemleges. Ezeket az elnevezéseket általánosan elfogadták.

Brom-hydrogen-, chlor-hydrogen- és jod-hydrogen-savak concentrált oldatai akkép bontatnak szét, hogy a hydrogen a nemleges, brom, chlor és jod pedig az igenleges sarkon fejlődik.

A chlor, brom, jod és általában a metalloidoknak fémekkel való

vegyületeiből a metalloidok az igenleges, a fémek a nemleges sarkon rakódnak le.

1807-ben Davy azon meglepő felfedezést tette, hogy a kali, natron és az ehez hasonló testek, melyek addig elemeknek tartattak, erős villámtelep hatása alatt felbomlanak. Az igenleges elektródon oxygen fejlődik, a nemlegesen pedig fém-fényű golyócskák rakodnak le. Davy a kaliból nyert fémet kaliumnak, a natron szétbontásából eredt fémet pedig natronnak nevezte.

Sók szétbontásánál a fémek az igenleges sarkon rakódnak le, míg a nemleges sarkon oxygen és a sav fejlődik. Igy például Berzelius után ezelőtt kénsavas rézélegnek nevezett só ($SO_3 + CuO$) rezet választ ki a nemleges sarkon és oxygent, valamint kénsavat az igenlegesen. Daniell e sót azért a réz és SO_4 szabadon elő nem állítható gyök vegyületének tekinti, mely az áram által alkatrészeire (SO_4 és Cu) bontatik. E nézet most az uralkodó, és ennek megfelelőleg a kénsav is H_2SO_4 alakban iratik.

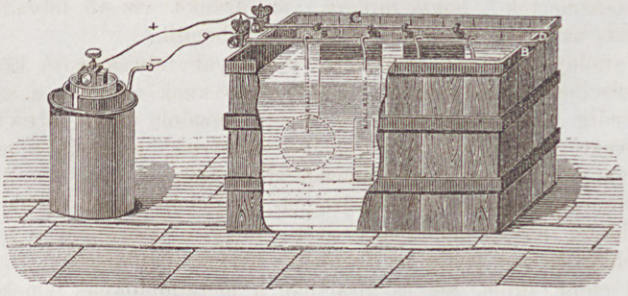
E szétbontások törvénye tehát a következő: „Azon kettős vegyületek, melyek egy fémből és egy gyökből, azaz metalloidból vagy túloxydalt savból állanak, az áram hatása alatt alkatrészeire bomlanak; a gyök az igenleges sarkon, a fém pedig a nemleges sarkon válik ki.“

3. **Galvanoplastika.** — Az elektrolysis igen fontos alkalmazást nyert a gyakorlatban, a mit Jakobinak köszönünk. Ő ugyanis megmutatta, hogy domborképeket az elektrolysis segítségével a legnagyobb hűséggel másolhatni. A műtét, melylyel ezt elérjük, galvanoplastikának neveztetik.

A domborkép másolására először a gép homorú lenyomatát kell képezni, és ennek felületét vezetővé alakítani. Erre vagy olvasztott stearint használnak, melybe az alakokat (különösen gypsz-alakokat) bemártják, vagy (fém- és fa-reliefeknél) hevítés által meglágyított guttaperchába nyomják az alakot. E negativ képet igen finoman megőrölt graphittal átvonják, miáltal a felület vezetővé válik.

A negativ képet concentrált rézvitriol-oldatba merítjük, és a B fémrúd (282. ábra), melyre fel van függesztve, a villámtelep nemleges

282. ábra.



sarkával érintkezik. A másik sark a D fémrúddal érintkezik, mely a C rézlemezt tartja. A rézlap feloldódik, és az ennek megfelelő rész a nemleges sarkon, a folyadékba merített képre rakódik. Eleinte célszerű igen gyenge áramot használni, hogy a réz lassan rakodjék a képre, később azután az elektrodok közelítése által erősíthetjük az áramot. A képződött rézfelületet könnyen le lehet venni, ha az alakot olajjal vagy zsírral kissé megkentük, mielőtt a folyadékba mártottuk.

4. **Galvanikus aranyozás és ezüstözés.** — Az előbbihez hasonló módon lehet valamely testet igen finom arany- vagy ezüstréteggel bevonni. A réz aranyozására azt erősen felhevítjük és melegen higított salétromsavba mártjuk, ezáltal a felület oxydrétege eltávolíttatik; azután lekeféljük és tiszta vízzel lemossuk. A felület tisztítását folytatva, a rezet ismét salétromsavba, és azután e sav, tengeri só és szurokkoromból álló keverékbe mártjuk, és végre tiszta vízzel lemossuk. Az így elkészített darabot nemleges elektrod gyanánt alkalmazzuk valamely aranyoldatban, mialatt az igenleges elektrodot aranylemez képezi. Az aranyfürdő állhat 1 gramm arany, 10 gramm cyánkalium és 200 gramm vízből.

Rezet, ezüstöt, bronzot és sárga rezet közvetetlenül aranyozhatni, de vasat, acelat, ónt, ólmot és horganyt először rézzel kell bevonni, a mit szintén galvanicus úton lehet tenni.

Ezüstözésre a fürdőt 1 gramm cyanezüst, 10 gramm cyánkálium és 250 gramm vízből képezzük.

II. Az áram erősségének megmérése.

1. **A Voltaméter.** — Azon készülékkel, melylyel a vizet szétbontjuk és a kiszabaduló elemek térfogatát megmérjük, az áramok erősségét meg lehet határozni. Azért e készüléket Volta tiszteletére Voltaméternek nevezik.

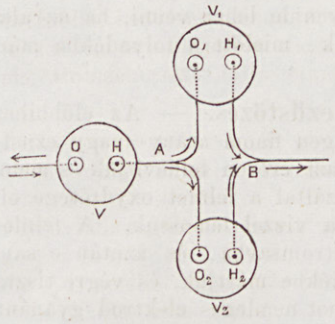
Ha ugyanazon áramba egymásután más-más Voltamétert iktatunk, azt találjuk, hogy egyenlő időben különböző gázmennyiségeket adnak. Ennek oka abban rejlik, hogy a voltaméternek a záró vezetőbe való beiktatása által a záró vezetőképességét gyengítjük, a mi oly hatással lesz, mint ha rosszabb vezetővel zárnók az áramot, tehát ezt gyengíteni fogja: nagy mértékben, ha az elektrodok kis felületüek és egymástól távol vannak; kevéssé, ha szélesek és egymáshoz közel vannak.

De ha a voltamétereket egyszerre iktatjuk az áramba, egyiket a másikhoz kapcsolván, akkor valamennyit ugyanazon áram hatja át és ugyanazon vízmennyiség is bontatik fel mindegyikben, bármily különböző legyen is szerkezetük. Ebből vonhatjuk első alaptörvényünket:

Ugyanazon áram egyenlő időben egyenlő vízmennyiségeket bont fel.

Hogy e felbontott vízmennyiség az áram erősségével változik, azt Faraday a következő módon mutatta meg. Miután az áramot az egyik voltaméterbe vezette, (V) (283. ábra), A-nál egyenlő vezetők által két ágra bontotta és két egyenlő voltaméterbe (V_1 és V_2) vezette; az utóbbiakból az áramot B-nél egyesítette és a másik sarkkal összekötötte. A V_1 és V_2-ben keringő áram a V_1-ben működőnek fele; e voltaméterek mindegyikében fél annyi víz is bontatott fel, mint V-ben. A miből következik, hogy

283. ábra



az áramok egyenlő időkben erősségükkel arányos vízmennyiséget bontanak fel.

2. **Faraday törvénye.** — Faraday az áram által felbontott vízmennyiséget összehasonlította más vegyületek felbontott mennyiségével; e célból a villámos áramba egy voltamétert és más folyadékkal megtöltött edényt iktatott.

E kisérletekből kitünt, hogy mialatt a vízből egy aequivalens bontatott fel, bármily más vegyületből szintén egy aequivalens volt felbontva.

Azon villámos mennyiséget, mely egy aequivalens vizet felbont, egységnek vevén, felállította azon nevezetes törvényt, hogy

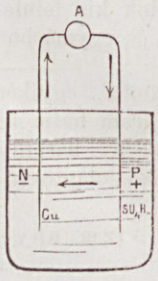
a villámosság egysége 1 aequivalens vegyületet bont fel.

Matteucci továbbá megmutatta, hogy a telepek belsejében ugyanezen törvények szerint megy végbe a vegyi folyamat.

III. Az elektrodok polarisatiója. Állandó telepek.

1. **Az elektrodok polarisatiója.** — Ha valamely (A) telep áramát tetszés szerinti elektroliton (284. ábra) átvezetjük, akkor az elektronegativ és elektropositiv elemek (illetőleg gyökök) a P és N elektrodok körül összegyülnek. Ha azután az A telepet galvanométerrel helyettesítjük, ez az eredeti árammal ellenkező irányú, P-től A-hoz N-felé tartó áramot mutat. E tünemény már régen ismeretes, és Becquerrel a szétválasztott elemek egymásra gyakorolt hatásából magyarázza. Igy például, ha kénsavas rezet ($SO_4 Cu$) bontunk fel, akkor a nemleges sarkon N-nél réz válik ki, és az igenlegesen P-nél oxygen fejlődése mellett kénsav ($SO_4 H_2$) gyűl össze. A telep működésének megszüntével a réz és a kénsav közötti elektromotorikus erő jut érvényre, melynél a kénsav az igenleges és a réz a nemleges sarkot képezi; azon áram

284. ábra



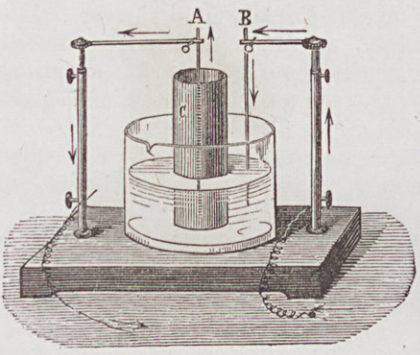
tehát P-ből fog kiindulni és igy az eredetivel ellenkező irányban halad.

E tünemény mindig előáll, valahányszor a kivált elemek az elektrodok körül gyűlnek össze, még akkor is, ha ezek gázok, mint például a víz szétbontásánál.

Ha az elektrodok oly állapotban vannak, melyben ellenáram keletkezik, akkor polarisált elektrodoknak nevezzük, a mi azt jelenti, hogy be vannak burkolva az áram által szétválasztott elemeknek.

4. **Állandó telepek.** — Az eddig ismertetett telepeknél az áram a telep működése alatt folyvást gyöngül, mivel a kiváló elemek az elektrodókat polarisálják, és azon kivül elválasztják az elektrodókat a folyadéktól, mi által a villámosság áramlását megakadályozzák.

285. ábra.



Miután Becquerel a gyengülés ez okait felismerte, módot is talált ezek elhárítására, két folyadék alkalmazása által.

Öntsünk kénsavas rezet likacsos anyagú hergerbe C (285. ábra), és mártsunk bele rézlemezt; e hengert pedig savas vizet tartalmazó edénybe állítjuk, melybe a B horganylemez is merül, és végre kapcsoljunk össze több ilyen elemet teleppé. Valamennyi horgany nemleges lesz, a rezek igenlegesek, és a külső áram a réztől a horgany felé fog tartani. A két folyadék a következő módon fog felbontatni:

B Zn	SO_4 H_2	SO_4 H_2	.....	SO_4 H_2	SO_4 Cu	.....	SO_4 Cu	SO_4 Cu	Cu A
— +	— +			— +	— +		— +	— +	— +

A réz a rézre (Cu) fog rakodni, SO_4 a horganyt fogja feloldani; polarisatió nem létesül, mert az elektrodokon gáz nem gyűl össze, s így a telep állandó marad.

Helyettesítsük már most a kénsavas rezet salétromsavval, és a rezet platinával:

B Zn	SO_4 H_2	SO_4 H_2	.....	SO_4 H_2	NO_6 H_2	.....	NO_6 H_2	NO_6 H_2	Pt A
— +		— +		— +	— +		— +	— +	— +

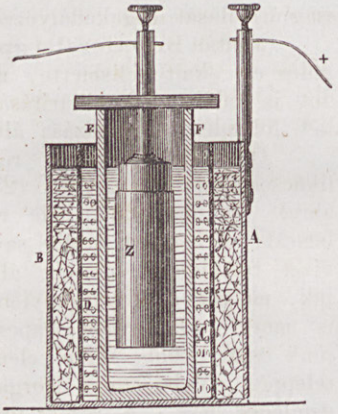
A platinán fejlődő hydrogen a salétromsav által tökéletesen absorbeáltatik, miáltal az áram gyengülést nem szenved.

E feltételeknek a Daniell, Grove és Bunsen által szerkesztett telepekben elég van téve.

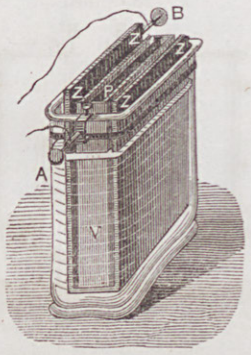
A Daniell-féle elem áll: 1. egy rézedényből AB (286. ábra), mely a CD hengeralakulag meggörbített és sok kis nyilással ellátott

rézlemez által két concentrikus részre osztatik. A külső rész megtöltetik a rézvitriol jegecekkel, melyek azon mértékben oldódnak fel, melyben e só felbontatik; 2. az EF porcellánhengerből, mely higított kénsavat tartalmaz; 3. egy vastag amalgamirozott horganyhengerből *z*, mely a savba merül és melynek külső része fémrúd segélyével a belső rézzel érintkezik. A horgany képezi a nemleges, és a külső rézedény az igenleges sarkot. E telep több mint hat órán át állandóan működik, sőt még tovább is, ha a likacsos hengerben felhasznált savat kellőleg megújítjuk. A hengerben ugyanis kénsavas horgany képződik, mely keyésbbé jól vezet, mint a kénsav.

286. ábra.



287. ábra.



A Grove-féle elem (287. ábra) higított kénsavat tartalmazó üvegedénybe van helyezve. Derékszög alatt kétszer meghajlított és amalgamírozott horganylemez *z z*, melyre a B gomb van erősítve, képezi a nemleges sarkot. A horgany két lemeze közé van helyezve a V likacsos edény, mely concentrált salétromsavat tartalmaz; végre az igen keskeny platinalemez P, mely az A gombbal közlekedik, képezi az igenleges sarkot. E telep a leghatásosabb, de a platina miatt a legdrágább is.

Bunsen a platinát az ép oly hatásos szénnel helyettesítette, miáltal a Grove-féle telepet általánosan alkalmazhatóvá tette.

E telepekre rendesen a világító gáz készítésénél a retortákban visszamaradt szenet használják, mely porrá törretvén, sziruppal péppé gyuratik, és miután a kivánt alakot megadták neki, kiégetik.

HARMADIK FEJEZET.

Az áram távolhatása.

I. A delejtű eltérítése.

1. **Oersted felfedezése.** — Már a villámgépek felfedezése óta igyekeztek meghatározni a villámosság hatását a delejtűre, mert számos eset volt ismeretes, melyeknél a hajók delejtűje villámcsapás által el lett rontva. Azonban e vizsgálatok eredményre nem vezettek.

Oersted kopenhágai tanár a galvanikus villámossággal is tett kisérleteket, de bár mikép is közelítette a telep sarkait a tűhez, ez mozdulatlan maradt. Itt is a véletlen vezetett egyik legnevezetesebb fölfedezésre. Oersted a sarkokból vezetett drótokat véletlenül a delejtű közelében egyesítette, és nagy melepetésére látta, hogy a tű észak-dél irányától mohón eltér, mintha meglökték volna. Oersted e tapasztalat fontosságát azonnal felismerte és tüzetes tanulmánya tárgyává tette; 1820-ban közzétette a következő törvényt:

A villámáram a delejtűt eltéríti, még pedig akkép, hogy erősségétől és távolságától függő erővel saját síkjára merőlegesen igyekszik állítani.

2. **Ampère törvénye.** — Oersted felfedezése nagy feltünést okozott, kisérletét bizonyára minden physikai laboratoriumban ismételték. Az eltérítés iránya, melyet egy, a tű hoszszában elvezetett áram létesít, oly módon változik, hogy lehetetlennek látszott az eltérítés irányát általános törvénybe foglalni. Ha a vezető drótot a tű fölött vezetjük el más az eltérés, mintha alatta van; ha a záró drótot megfordítjuk, a tű ismét máskép tér el mint előbb; ha oldalt vezetjük a drótot a tű szintén eltér, de ellenkező irányban, mint mikor a másik oldalon épen így vezetjük el.

E labirintból Ampère még ugyanazon évben, 1820-ban, bámulatra méltó genialitással felállított törvény által vezetett ki.

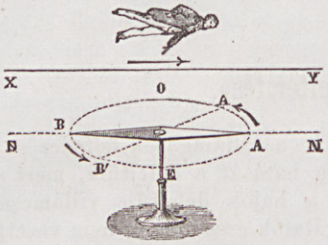
Az eltérítés irányának meghatározására az áramnak bizonyos irányt kell tulajdonítanunk. Általánosan el lőn fogadva, hogy az áram az igenleges sarktól a nemleges felé tart. Ampère ezen irányban fejjel előre úszó személyt képzel magának, mely mindig a tűre néz. Ezen személy balja és jobbja meghatározza az áram bal és jobb oldalát.

E jelölések segítségével Ampère az igen különböző eltéréseket meglepő egyszerüségü törvénybe foglalta; ugyanis a tű északi sarka mindig balra tér el.

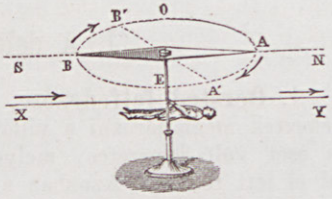
A 288. és 289. ábrák az xy irányban terjedő áram által okozott eltérítést mutatják. S a tű déli és N északi sarkát jelölik.

E törvény minden képzelhető helyzetre érvényes, így például, ha az áram nem párhuzamos a tűvel, vagy ha a tű nincs a delejes meridiánban.

288. ábra.

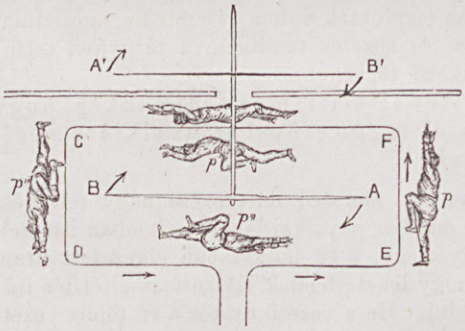


289. ábra.

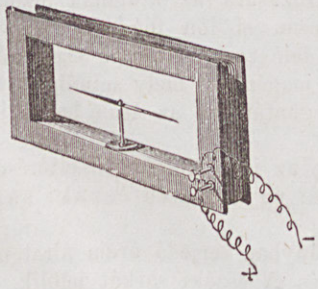


3. **A galvanométer.** — Az áram befolyását a delejtűre nagy mértékben fokozhatjuk, ha a tűt a dróttal egészen körülveszszük; ezen esetben az áram minden része a tűt ugyanazon irányban téríti el. Vizsgáljuk például a CDEF áram egyes oldalainak hatását az AB tűre (290. ábra). Ha az emberi alakot p-ben EF-n képzeljük, és innen az áram irányában körülvezetjük, úgy, hogy egymásután a $p' p'' p'''$ helyzeteket foglalja el, mialatt mindig a tűre néz, akkor jobb oldala mindig a papir síkja alatt, bal oldala pedig e síkon innen lesz; ennek következtében a négyszög minden oldala a tűt egy irányban téríti el, mely irány az A és B ívek által van jelölve. Ha a drótot kétszer körülvezetjük, a hatás kétszer-akkora. Ily módon tehát az áram hatását tetszés szerinti mértékben lehet fokozni, a miért e készülék multiplicatornak, sokszorozónak is neveztetik. Ilyen egyszerű multiplicatort a 291. ábra mutat.

290. ábra.



291. ábra.



A készülék érzékenységét még nagy mértékben növelhetjük két, ellenkező fekvésben szilárdan összekötött tű alkalmazása által, az AB és B'A' tűk (290. ábra) módjára. A

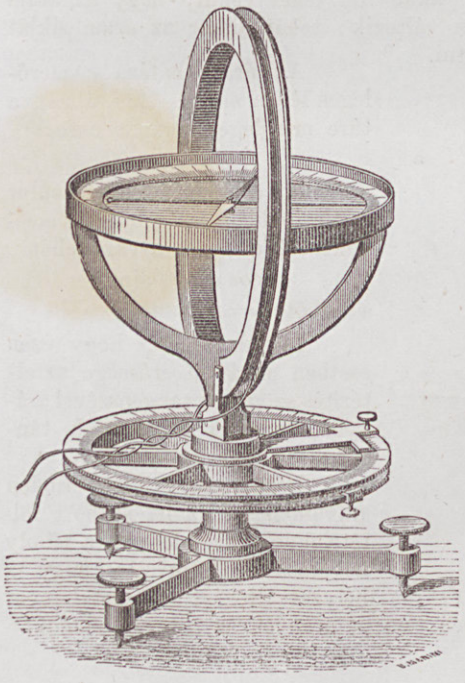
föld hatása ilyen tűre majdnem semmi, mert az egyesekre ellenkezőleg hat. Másrészt az áram hatása is nagyobb, mert ha az A'B' tű a négyszögön kivül van, akkor az áram által ugyanazon irányban térítetik el, mint AB. A külső tűre csak FC, mint a hozzá legközelebb, hat és ha a p' alakot megfordítjuk, úgy hogy A'B'-re nézzen, akkor balja a papir síkja alá esik; ezen irányba fog tehát az A' sark fordulni, mely B forgásával azonos. Tehát a kettős tű alkalmazásának kettős előnye van: a föld hatását megsemmisíti és az áram hatását növeli; ez utóbbi pedig a körültekerések száma által tetszés szerint növeszthető lévén, látni való, hogy csak a szerkesztési nehézségek szabják meg az érzékenység határát.

Az ezen elvre alapított készülékek gyönge áramok kimutatására igen alkalmasak. Galvani tiszteletére galvanométereknek neveztetnek.

II. Az áram erősségének mértéke.

1. **A sinusbussol.** — A voltaméter, mely az áram erősségét a percenként szétbontott víz mennyisége által pontosan megadja, gyönge áramok mérésére nem alkalmazható. Továbbá csak az áramnak bizonyos idő alatt elért középértékét adja meg; az áram erősségének rövid időközökben való változását vele nem mérhetjük meg.

292. ábra.



E hiányoktól tökéletesen mentek azon készülékek, melyek az áramnak delejes hatásán alapszanak. Ilyen a sinusbussol-nak nevezett készülék.

Ez függélyes fagyűrűből áll (292. ábra), melyre selyemboritékkal elszigetelt drót egyszer vagy többször körül van tekerve. Osztályozott vízszintes sík fölött a gyűrű középpontjában alá támasztott delejtű leng. A tűnek a meridiánból való eltéritését mutató osztályzat zérus pontja az áram síkjában van. Az egész készülék függélyes tengely körül forgatható, és e forgás nagysága az alsó osztályzott körön leolvasható.

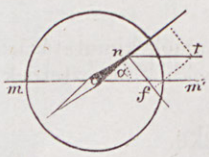
Az áram zárása előtt a készüléket akkép állítjuk, hogy a tű zérusra mutasson. Az eltérítés után a galva-

nométert a tű után forgatjuk, mig az ismét zéruson áll, és a forgás szögének nagyságát, α-t, az alsó körön leolvassuk.

Az áram delejes hatása ezen α szög szinusával arányos.

Mert, ha az áramok a tű irányában mindig ugyanazon helyzetet foglalják el, akkor hatásuk a földdelejesség azon componenssével lesz arányos, mely az áramok által gyakorolt hatások irányába esik; vagyis, a földdelejesség hatásos componenssével. Ha mm' a delejes meridian (293. ábra), α azon szög, melylyel a tű tőle eltér és t a földdelejesség vízszintes componensse, akkor nf az áram hatásának iránya lévén, a földdelejesség hatásos componensse is ezen irányba esik, és értéke

293. ábra.

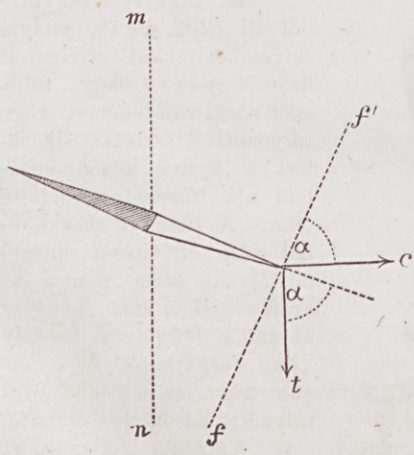


$$t \cdot \sin \alpha$$

s e mennyiséggel az áramok hatásai arányosak. Minthogy t állandó, mondhatjuk, hogy az áramok hatásai az eltérések sinusaival arányosak. Ezért e készülék sinusbussolnak neveztetik.

2. A tangensbussol. — A sinusbussolnál a keresett értéket nem lehet közvetetlenül leolvasni; de vannak esetek, a midőn az áram erősségét gyorsan, egyszerű leolvasásra kell ismernünk, például, ha az áram folyvást változik. Ilyen célokra használtatik a tangensbussol, melynek elve a következő: ha a kör, melyben az áram kering, igen nagy a tű méreteihez képest, akkor fel lehet venni, hogy az áram hatása a tű kitérése által nem változik; tehát akkor az áram síkját nem kell a tű irányába forgatni.

294. ábra.



Az áram hatása c merőleges lévén mn-re (294. ábra), a tűre merőleges componensre:

$$f = c \cdot \cos \alpha$$

E componens egyensúlyt tart a földdelejesség hatásos componenssével, $t \sin \alpha$-val, tehát

$$c \cos \alpha = t \sin \alpha$$

a miből $c = t \cdot \operatorname{tang} \alpha$

Látjuk tehát, hogy ezen esetben az áram erőssége az eltérítés szögének tangenssével arányos, s azért e készülék tangensbussolnak neveztetik.

Látni való, hogy minden galvanométer az itt szabott föltételeknek megfelel, ha a tű oly kevéssé téríttetik el, hogy a helyzetváltozást el lehet hanyagolni; s minthogy ezen esetben tang α arányos az α ívvel, mondhatjuk, hogy $c = t \cdot \alpha$

Kis eltéréseknél tehát az áram erősségét a tű eltérítésével mérhetjük.

3. **A delejes és a chemiai mérték.** — Ugyanazon helyen egyazon bussollal tett kisérletekkel könnyen meggyőződhetünk, hogy az áram delejes hatása arányos chemiai hatásával. E célra egyidejüleg egy galvanométert és egy voltamétert iktatunk az áramba, és azt az elemek szaporitása által megváltoztatjuk.

Ha például a tangensbussolon az állandó eltérítés 10^0, mialatt például rézvitriolba merített két rézlap közül a nemleges sarkot képező percenként 0·013 grammal növekszik, akkor az eredményt aequivalensekre reducáljuk, ha a réz molekulár-súlyával 63·4-el osztjuk:

$$\frac{0{\cdot}013}{63{\cdot}4} = 0{\cdot}000205;$$

tehát ilyen erősségü áram $0{\cdot}000205 \times 2 = 0{\cdot}00041$ gramm hydrogent fejlesztett volna.

Ennélfogva az áram erőssége

$J = 0{\cdot}00041$ chemiai mértékben

és $J = T \,.\, \text{tng}\ 10 = 0{\cdot}176\ T$ delejes mértékben;

ebből

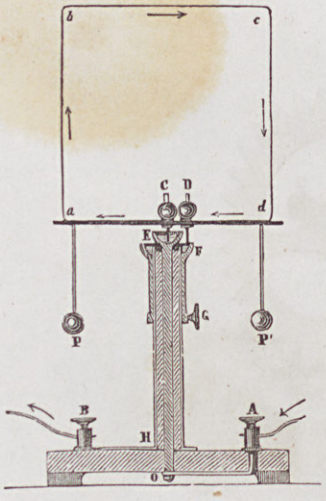
$$T = \frac{0{\cdot}00041}{0{\cdot}176} = 0{\cdot}00233$$

vagyis azon áram, melynek delejes hatása bussolunkon a földdelejesség vízszintes hatásával egyensúlyt tart, percenként 0·00233 gramm hydrogent fejleszt.

A tangensbussolon leolvasott eltérítésnek chemiai mértékre való visszavezetésére szolgál e képlet:

$$J = 0{\cdot}00233\ \text{tng}\ \alpha.$$

295. ábra.



III. A delej hatása az áramra.

1. **Ampère állványa.** — Minthogy az áram a delejre hatást gyakorol, az ellenkező hatás is szükségkép észlelhető volna, ha könnyen mozgó vagy forgó záró drótokhoz közelitenők a delejt. Ilyen könnyen mozgó záró drótot Ampère a következő módon állitott elő.

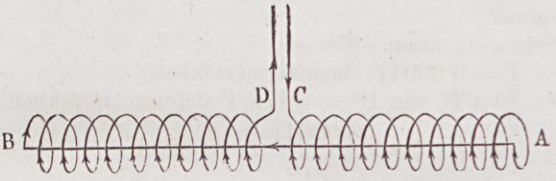
Faállványra (295. ábra) két csavar A és B van erősitve. A-nál vezetjük be az áramot, és innen az OE fémoszlopon át az E higanynyal telt mélyedésbe kerül. Ezen fémoszlop üvegcsővel el van szigetelve az őt körülvevő HF fémboritéktól, mely a B csavarral közlekedik, és mely fönt higanynyal telt vasmélyedésben végző-

dik. E-t a batteria igenleges, F-t pedig nemleges sarkának tekinthetjük, ezeket az *abcd* vezető által összekötjük. E vezető a C tű hegyén nyugszik, és a D tűben végződik, mely az F higanyba merül, azonban a mélyedés alzatáig nem ér. Az egész rendszer C-n keresztül menő függélyes tengely körül forgatható. A P és P' súlyos gömbök csak arra szolgálnak, hogy a rendszer súlypontja a C tű hegye alá essék.

Ha ilyen készüléket, melyen az áram keresztül megy, magára hagyunk, a földdelejesség hatását észleljük rajta; úgyanis addig forog, mig az *abcd* sík a delejes meridian síkjára merőlegesen nem áll.

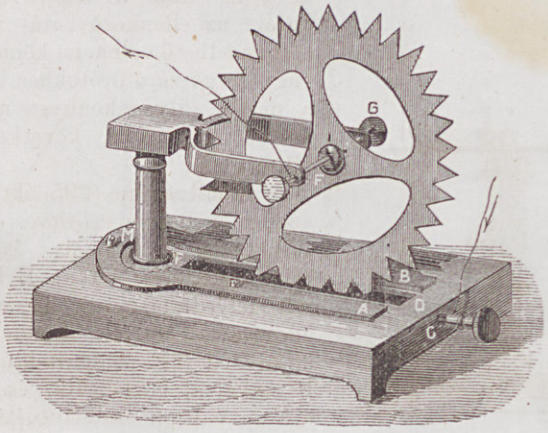
Hogy ha tehát az áramot a 296. ábrában látható módon párhuzamos körsikokban vezetjük, úgy ilyen vezető a delejtű tulajdon-

296. ábra.



ságait fogja mutatni. Minthogy mindegyik sík a delejes meridianra merőlegesen helyezkedik, az egész készülék tengelye (AB) a delejes meridianba igyekszik helyezkedni. Ilyen készüléket Ampère solenoidnak nevezett; és megtutatta, hogy e solenoidok minden tekintetben a delejek tulajdonságaival bírnak. A solenoidok végei delejsarkok, ugyanis vasdarabokat magukhoz vonzzanak. A delej által vonzatnak vagy taszíttanak, ugyanazon törvények szerint, mint a hogy a delejek egymásra hatnak.

297. ábra.

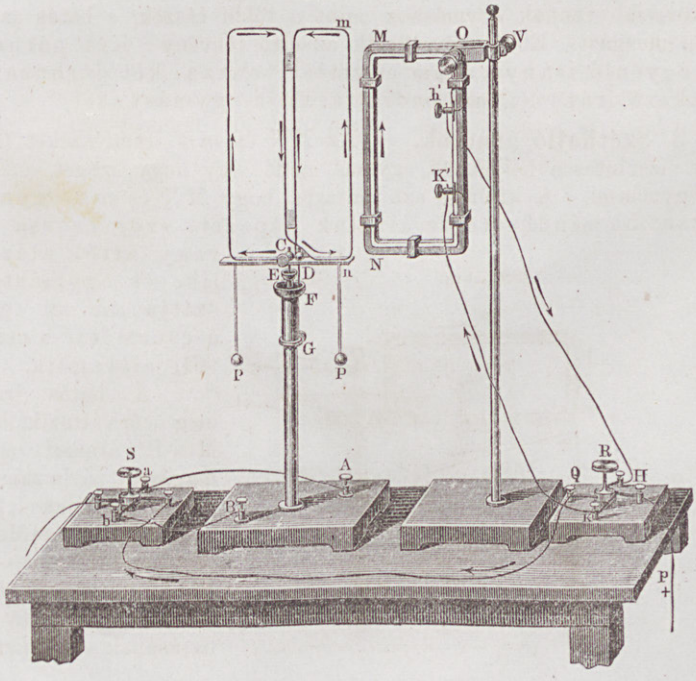


A solenoidok sarkainak meghatározására Ampère a következő szabályt állította fel: az északi sark áramuk baloldalán van. E szerint viszont megfordítva minden delejt solenoidnak lehet tekinteni, melyben az áram a déli sark körül az óramutató irányában kering, t. j. alul keletről nyugatfelé, a baloldalon fölfelé és a másikon lefelé.

Barlow a következő készülékkel mutatta meg a delej hatását az áramra.

A rézből készült fogaskerék (297. ábra) GF tengely körül könnyen foroghatóan van megerősítve. ED mélyedés higanynyal van megtöltve, melybe forgás közben a kerék fogai merülnek. E készülékbe a C gombon át villámáramot vezetünk, mely a higanyból a kerék tengelyéig áramlik, a honnan a telep nemleges sarkába vezettetik. Végre egy delej AMB van a készülék aljára erősítve. A mint az áramot zárjuk, a kerék forgásnak indul. A forgás irányát meghatározhatjuk azon szabályból, hogy a delej északi sarka balra térittetik el, maga az áram tehát jobbra fog mozogni. A jelen esetben az alak lábával a fogak felé és fejével fölfelé fog állani; ha az északi sarkra, A-ra néz, akkor jobb keze D-től E-felé mutat; a B sark az áramot balra fogja eltéríteni, de ha az alak B-re néz, bal keze szintén D-től E-felé mutat. A forgás tehát kettős erővel D-től E-felé fog végbe menni. Ha a delejt megfordítjuk, vagy az áramot a tengelytől vezetjük a higanyba, a forgás ellenkező irányú lesz.

298. ábra.



IV. Az áramok kölcsönös hatása.

1. Ampère forgó áramvezetője által azt a nevezetes fölfedezést tette, hogy nem csak az áramok és delejek hatnak egymásra, hanem az áramok kölcsönösen egymásra is hatnak.

E kölcsönös vonzás és taszítás tanulmányozására olyan vezetőt készített, melyre, mint az astatikus türe, a földelejesség irányító hatással nincs. Ha ugyanis drótból akkép alkotunk két derékszögü négyszöget, mint a 298. ábrában látható, úgy az áram a két szélső valamint a két belső oldalon egyenlő irányú; a belsők- és külsőkben pedig ellenkező irányú.

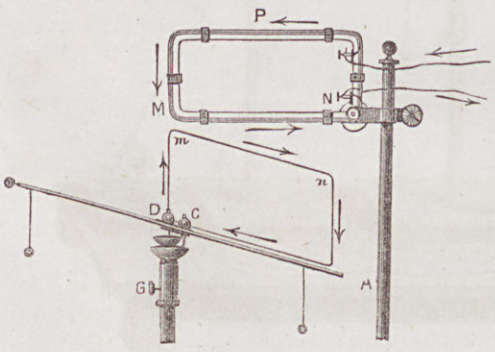
Igy a két négyszögre az irányító hatás ellenkező lévén, a rendszer minden helyzetben egyensúlyban marad.

A mozgékony áramra különböző alakú szilárdan megerősített áramokat működtetünk. Rendesen a h' és k'-ben végződő drót többször vezettetik körül az $MOh'k'N$ négyszögön. E négyszöget tetszés szerinti magasságban és irányban erősíthetjük meg a V csavarral. Az O-nál alkalmazott csavar segítségével majd MN-t, majd MO-t állíthatjuk vízszintes helyzetbe.

2. **Párhuzamos áramok.** — Ha a kisérlet akkép van berendezve, mint a 298. ábrában, azt találjuk, hogy az MN és mn részek egymást vonzzák vagy taszítják, a szerint, a mint az áramok egyenlő vagy ellenkező irányuak. S minthogy a vezetők e részei sokkal közelebb vannak egymáshoz, mint a többi részek, e hatás szabja meg a mozgást. Ebből következik az első törvény: Két párhuzamos egyenlő irányú áram egymást vonzza, két párhuzamos ellenkező irányú áram pedig taszítja egymást.

3. **Széthajló áramok.** — Az MN és mn áramrészeket (299. ábra) vízszintesen helyezzük egymás mellé, úgy hogy szöget képezzenek egymással. A kisérlet azt mutatja, hogy MN és mn egymást vonzza, ha mindkettő az általuk képezett szög csúcsa felé vagy attól eláramlik; és egymást taszítja, ha az egyik a csúcs felé a másik tőle eláramlik.

299. ábra.

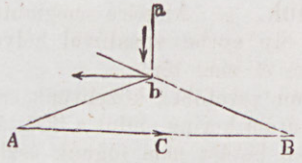


A hatás iránya meg nem változik, ha az MNP áramot magamagával párhuzamosan akkép mozdítjuk el, hogy DmM közös merőlegese legyen MN és mn-nek. Ebből következik, hogy két áram egymásra való hatásának meghatáro-

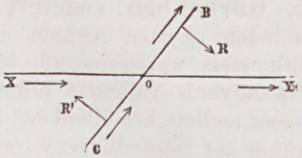
zásánál az általuk képezett szög csúcsát közös merőlegesükkel helyettesíthetjük.

Ezekből következik, hogy ha valamely AB vízszintes áram ab függélyes áramra hat (300. ábra), akkor a C ponttól egyenlő távol-

300. ábra.



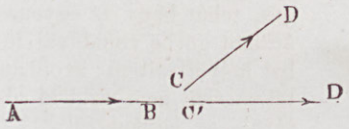
301. ábra.



ságban fekvő A és B elemek ab-t egyenlően fogják egyrészt vonzani, másrészt taszítani. E hatások eredménye, mint az ábrából látható egy, az AB-vel párhuzamos erő lesz. Hogy ha tehát ab szabadon mozoghat, magamagával párhuzamosan fog elmozdíttatni.

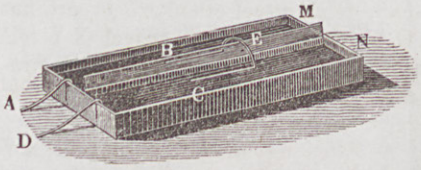
Ha továbbá xy áram a keresztben fekvő BC áramra működik (301. ábra), akkor az XOC és BOY szögekben vonzás, a másik két szögben pedig taszítás mutatkozik. CB tehát az o pont körül fog forogni, mig xy-al párhuzamos és egyenlő irányú nem lesz.

302. ábra.



4) **Ugyanazon áram egyes részeinek egymásra való hatása.** — Ha AB és CD egy áram két része (302. ábra), akkor e kettő egymást taszítja, miután AB a csúcshoz közeledik, mig CD tőle eltávolodik. Ha CD a csúcs körül forghatóan van megerősítve, akkor AB meghosszabbításában C'D'-be fog helyezkedni. Ekkor a két áram 180 foknyi szöget képez; hogy ha tehát az idézett törvény általánosan érvényes, a két áramrész most is taszítani fogja egymást. Hogy ez csakugyan így van, azt Ampère és de la Rive a 303. ábrában lerajzolt készülékkel mutatták meg. Egy fateknő üvegfal által két, egymástól elszigetelt részre van osztva. Mindkét rész higanynyal van megtöltve. A higanyon a CEB vasdrót úszik, mely a higanyba merülő végeken kivül spanyolviaszszal van bevonva.

303. ábra.



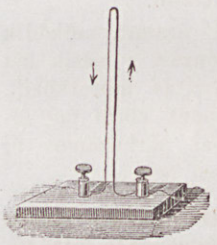
Ha A és D-nél a batteria vezetőit a higányba mártjuk, akkor az áram A-tól B-ig a higanyban folyik, innen a drótba megy át, és azt BEC irányban átfutja, és C-től D-ig ismét a higany vezeti. Az AB és BC áramrészek, valamint a DC és CE részek egymást taszítják, minélfogva a drót a teknő másik végeig tolatik.

Igen feltünő módon mutatta továbbá Faraday az áram egyes részeinek egymásra gyakorolt taszító hatását: A mérleg egyik csészejére rézdrótot függesztett, melynek lefelé álló végei higanyba merültek; a drót súlyát a másik csészében ellensúlyozta. Ha a higanyba áramot vezetett, úgy, hogy a drótot is áthassa, akkor a higanyba merülő végek fölfelé tolattak.

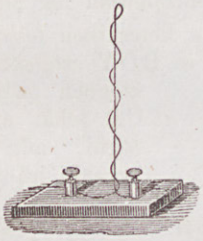
5. **Görbékben vezetett áramok.** — Ampère megmutatta, hogy minden egyenes vonalú áramot oly görbe vonalúval helyettesíthetünk, mely az egyenestől tetemesen el nem tér.

Ha ugyanis valamely áramot olyan vezetőhez közelítünk, melyben egymás mellett két ellenkező irányú áram kering, mint a 304. ábrában, akkor az első törvény értelmében hatást nem fogunk észlelni, mert a vonzás egyenlő a taszítással. De a kisérlet azt is mutatja, hogy a 305. ábra vezetője — melyben az egyik rész a másik körül rugó alakjában van vezetve, de anélkül, hogy érintené — sem hat egy kivül álló vezetőre.

304. ábra.



305. ábra.

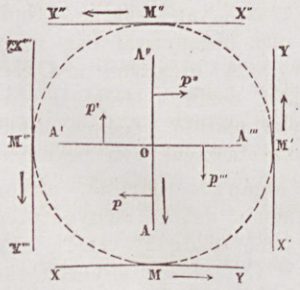


Ebből következik, hogy a rugó-alakú áram ép úgy hat mint az egyenes, tehát hogy az egyenes áramot görbe vonalúval lehet helyettesíteni; azonban tetemesen nem szabad eltérnie az egyenestől.

6. **Végtelen áramok hatása.** — Hogy a földnek az áramokra való hatását tanulmányozhassuk, ismernünk kell a végtelen áramok hatását a véges áramra.

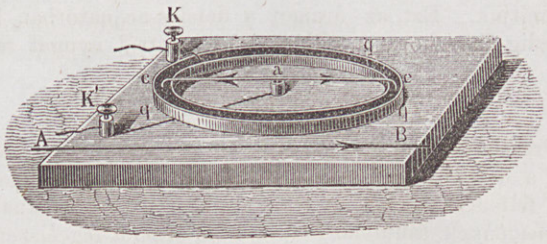
a) A végtelen hosszúnak képzelt XY áram (306. ábra) az O pont körül forgható OA áramot forgatni fogja. Mert ha OA helyzetben van, akkor XY p erővel fog ráhatni, miáltal OA'-be jön. Ezen állásban XY-nal párhuzamos és vele ellenkező irányú, tehát általa egy p' erővel taszíttatik, míg OA'' helyzetbe ér. Itt az áram ellenkező irányú, mint OA-ban, tehát p-vel ellenkező p'' erő hat rá; OA'''-ben pedig p''' erővel XY felé vonzatik. Látjuk tehát, hogy az erő mindig a forgás irányában működik, tehát a forgást szakadatlanul előmozditja.

306. ábra.



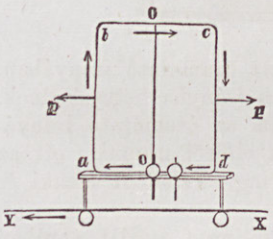
A hatás ugyanaz lesz, ha az XY áram X'Y', X''Y'', X'''Y''' helyzeteket foglalja el, e négy áram hatása tehát összegeződnék, a miből következik, hogy az MM' M''M'' köralakú áram minden része egyenlő irányú forgást hozna létre, vagyis hatásai összegeződnek.

307. ábra.



Az egyenes vonalú áram forgató hatását a 307. ábrában lerajzolt készülékkel mutathatjuk meg. A cc drót közepén, a-nál forghatóan van alátámasztva, míg végei a qq higanynyal telt csatornába merülnek. K és K' csavarokat a batteria sarkaival összekötjük, K a higanyba, K' a-hoz vezet. Ha még a köralakú csatorna mellett az AB áramot vezetjük el, akkor a fönnebbi feltételeknek elég van téve; a cc huzal csakugyan forgásnak ered.

308. ábra.



b) Képzeljük, hogy a végtelen hosszú XY áram (308. ábra) az OO' tengely körül forgható $abcd$ négyszögü áramra működik. Ha az ad és bc oldalok nem párhuzamosak XY-nal, akkor ez utóbbi az elsőket — a-t vonzva és b-t taszítva — magával párhuzamos helyzetbe igyekszik hozni. Ha XY igen közel van, akkor az ad-re gyakorolt hatás túlnyomó lesz, ha pedig igen távol van, akkor a két hatás egymást ellensúlyozza.

V. Ampère elmélete a delejességről.

A villámosság és delejesség azonossága, mely Oersted felfedezése és Ampère remek tanulmányai által felismertetett, fölöslegessé teszi, hogy e két természeti erőt különböző hypothesisekkel magyarázzuk.

Ampère a két hypothesist igen egyszerűen vonja össze; ugyanis a már fönnebb értelmezett molekulár-delejeket solenoidoknak tekinti. E solenoidok, melyek a vasban szabálytalanul minden irány felé állanak, a delejezés által akkép rendezkednek, mint fönnebb a molekulár-delejekről föltételeztük. A lágy vas solenoidjai könnyen rendezkednek az áram vagy valamely delej hatása alatt, de a hatás megszüntével előbbi helyzeteiket ismét elfoglalják; az acél ellenkező tulajdonsággal bír. A lágy vas és az acél tehát a delejesség irányító hatása iránt úgy viseltetnek, mint a kaucsuk és az ólom nyújtó erők iránt.

A föld delejes és villámos hatását szintén villámáram hatásának tulajdonítjuk. Ezt az áramot a delejes aequatorban kell képzelnünk, és pedig úgy, hogy a villámosság keletről nyugat felé áramlik.

VI. Delejezés az áram által.

1. Aragó megmutatta, hogy az áramnak nem csak irányító hatása van a delejre, hanem hogy delejező hatása is van. E nagyjelentőségü felfedezés ismét új irányt adott a kutatásoknak.

E tünemények tanulmányozására az áramot legcélszerűbben rúgó alakjában vezetjük a rúd körül, mert ekkor majdnem zárt köráramokat nyerünk, melyek mindegyike a molekuláráramokat magával párhuzamosan igyekszik helyezni; így az egyik kör a másik hatását növeszti.

A delejsarkok minőségét ismét Ampère törvényével határozhatjuk meg. Igy például, ha az *mn* vezetőben (309. ábra) az áram a

309. ábra.



nyilak irányában kering, tehát B-től nézve az óramutató irányában, ekkor az AB vasrud molekuláráramai is ezen irányba helyezkednek. A solenoid azon vége pedig, melyben az áram az óramutató irányában kering, déli sark; ha az északi sarkra előlről nézünk, ott az áram az óramutatóval ellenkező irányban kering. Tehát A északi és B déli sark lesz.

Ha a drótot akkép vezetjük a rúd körül, mint a 310. ábrában

310. ábra.



és az áram szintén *m*-től *n*-felé halad, akkor A-nál lesz a déli és B-nél az északi sark.

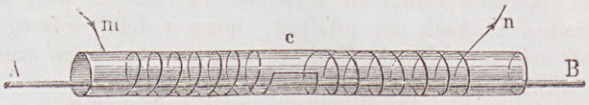
Ha az áramot a két vezetőben *n*-től *m*-felé vezetjük, akkor a sarkok megfordulnak.

A sarkok helyzetét minden kisérletnél ennek megfelelően találjuk.

Minthogy a vasrúd akkép delejeztetik, hogy helyzete olyan, melyet egy kész delej az áram hatása alatt elfoglalna, a sarkok helyzetét Ampère egyszerü szabálya szerint határozhatjuk meg: az északi sark balra van.

Ha a drót egy részét az egyik, másik részét a másik értelemben vezetjük a rúd körül, mint a 311. ábrában, akkor A-nál is,

311. ábra



B-nél is északi sark keletkezik; a rúd közepén pedig *c*-nél déli sark származik. E dupla sarkok számát ily módon tetszőlegesen növeszthetjük.

Az áram hatása alatt vasrudak, valamint acélrudak is delejesek lesznek. Az áram megszüntével a delejesség egy része mindig megszünik, a vasnál majdnem az egész, az acélnál minőségétől függő kis része vész el, a többi állandóan megmarad, mint a már fönnebb megismert módon való delejezésnél.

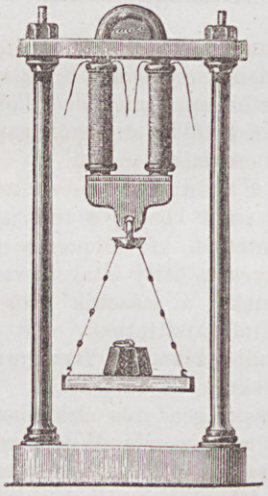
Ily módon könnyen állíthatunk elő roppant erős delejeket. Erős áramokkal vastag acélrudak is rögtön a telitésig delejeztetnek.

A delejezésre hozzá készített tekercseket szokás használni, a milyent a 312. ábra mutat. A selyemmel bevont drót fahengeren többszörösen körül van vezetve, melynek ürébe a delejezendő rúd helyeztetik.

312. ábra.



313. ábra.



Igen erős delejek előállítására lágy vasat használnak, mert, mint fönnebb láttuk, a delej erőssége a vas tömegével növekszik, és nagytömegü acelat igen nehéz a telítésig delejezni.

Kisebb elektromagnesek a 313. ábrában látható módon erősíttetnek meg, ez a mód igen alkalmas tartóképességük megmérésére. Nagyobb delejek különböző céloknak megfelelően, majd fölfelé álló, majd vízszintesen álló sarokkal készíttetnek.

2. **A delejezés törvényei.** — Valamely dróttekercs delejező hatása a körültekerések számától és az áram erősségétől függ; azért e két mennyiség szorzatát a tekercs delejező erejének nevezik.

Lenz és Jakobi kisérletek által megmutatták, hogy a delej erőssége a tekercs átmérőjétől független, ha a delejezett rúd végei a

tekercsből eléggé kiállanak. Ha a tekercsek a rúd végeig érnek, akkor a szűkebb tekercsek valamivel erősebben delejeznek, mint a tágak.

Ugyan e tudósok azt találták, hogy a delej erőssége az áram erősségével arányos. De J. Müller megmutatta, hogy ezen arányosság nem áll, ha erős áramok vékony rudakra hatnak.

Az elektromagnesek tartóképessége még kellőleg nem ismert módon a horgonytól is függ, ép úgy mint az állandó delejeknél láttuk.

3. **Delejezés statikai villámosság által.** — A dörzsölés által előállított villámosság tárgyalásánál említettük, hogy a kisütés árama delejes hatást mutat. E hatás azonban az állandó áramok hatásához képest igen csekély. Észrevehető hatás elérésére a jól szigetelt drótot sokszor kell egy vékony acélrúd körül (legjobb e célra varró tűt használni) vezetni.

Gyönge palackbatteriák által való delejezés az Ampère-féle törvény szerint történik. De az erősebb töltésnek nem felel meg mindig erősebb delejezés is; és ha a töltés bizonyos határt meghalad, a sarkok megfordulnak; ugyanis ott, hol az Ampère-féle törvény szerint északi sarknak kellene származni, déli sark származik, és megfordítva.

VII. Diamagnetismus.

A delejesség eddigi tanulmányozásánál a delejezhető testeknek csak a vasat, ennek vegyületét oxygennal és szénnel, mint acelat és öntöttvasat, csekélyebb mértékben a nickelt és kobaltot ismertük meg. Gyakran megvizsgálták már a többi anyagok magatartását is a delejesség iránt, de határozott eredmény nélkül.

A döntő kísérleteket Faraday 1845-ben tette, melyekkel megmutatta, hogy a delejesség iránt közönyös test nem létezik. Faraday az összes testeket e tekintetben két csoportra osztotta. az elsőhöz tartoznak azon testek, melyek a delej által vonzatnak, mint a vas — ezek a magnetikus testek; a második csoportot képezik azon testek, melyek a delejek által taszíttatnak, mint a bismuth, melynek e tulajdonságát már a múlt században Brugmanns fedezte fel — ezek diamagnetikus testeknek neveztetnek.

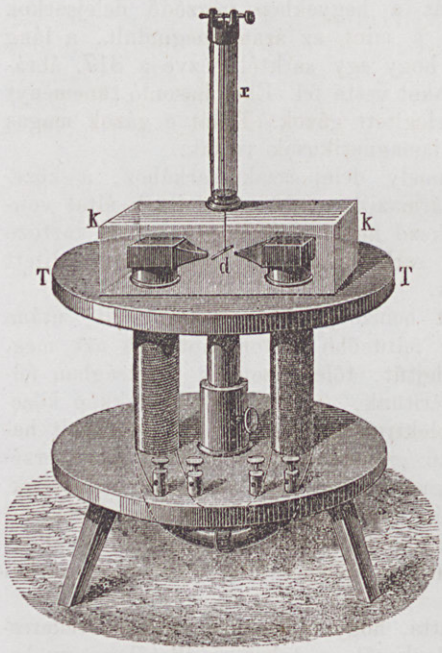
A diamagnetismust csak igen erős elektromagnesek segítségével ismerhetjük fel. És hogy a megvizsgálandó test mennél mozgékonyabb legyen, legjobb azt finom selyemszálra függeszteni. Plücker e kísérletekhez a 314. ábrában látható készüléket használta. A *kk* üvegszekrény légáramok befolyásától óvja meg a *d*-nél felfüggesztett testet. Az elektromagnesek szemközt fekvő csúcsokban végződnek.

Ha vasrudacskát helyezünk a csúcsok közé, és a tekercsekbe erős villámáramot vezetünk, akkor a vasrúd azonnal delejjé válik és akkép helyezkedik, hogy hőszsza a csúcsokat összekötő egyenesbe essék. Ép ily helyzetet foglal egy kobalt- vagy nickelrudacska.

De ha a vasat bismuth-rudacskával helyettesítjük, más tünemény mutatkozik; a mint a villámáramot zárjuk, a rudacska a csúcso-

kat összekötő vonalra merőlegesen helyezkedik, s e helyzetben néhány lengés után egyensúlyba jön; ha e helyzetből elmozdítjuk, ismét visszatér; s ez alkalommal mindig akkép forog, hogy végei a legkisebb szöget írják le. Közönyös tehát, hogy a rudacska melyik vége áll az összekötő vonaltól jobbra vagy balra, ez csak a rúdnak az áram zárása előtti helyzetétől függ. A sarkok megfordítása sincs befolyással a rudacska helyzetére.

314. ábra.



A kisérletből következik, hogy a delej mindkét sarka a bismuthrudat egyenlő mértékben taszítja; vagyis a bismuth törekvése erősebben ható delejes helyekről gyengébben hatókhoz mozogni.

A taszító hatást közvetetlenül is lehet látni, ha a rudacska súlypontját az egyik sarkhoz közelebb helyezzük, mint a másikhoz; a mint az áramot zárjuk, a rudacska a közelebb álló sarktól eltávolodik.

Az e módon megvizsgált anyagok közül magnetikusaknak találtattak a következő fémek :

vas, nickel, kobalt, platina, palladium, titán, mángán, chrom, cerium, osmium.

Diamagnetikusaknak, még pedig fogyó erősség szerint rendezve : bismuth, antimon, horgany, ón, cadmium, higany, ólom, ezüst, réz, arany, arsen, uran, rhodium, iridium, wolfram.

A szilárd metalloidok közül a következők diamagnetikusak : phosphor, kén, tellur, jod.

A felsorolt testek vegyületei ismeretes törvény szerinti összefüggés nélkül részint magnetikusak, részint diamagnetikusak.

315. ábra.



316. ábra.



Plücker a folyadékokat, a 315. és 316. ábrában látható módon, óraüvegekben vizsgálta meg, ezeket az e célra alkalmas alakkal biró delejsarkokra A és B-re helyezte. A folyadékok magnetikus

tulajdonsága az által mutatkozott, hogy a sarkokon összegyűltek (315. ábra), mig a diamagnetikus folyadékok a sarkokon mélyedéseket mutattak.

317. ábra.



Ily módon azt találták, hogy víz, alkohol, aether, olajok, szénkéneg diamagnetikusok.

A delejnek gázokra való hatását először Bancalari a következő kisérlettel mutatta meg: a gyertya lángját a hegyekben végződő delejsarkok közé helyezte; a mint az áram megindult, a láng lelapult úgy, hogy egy sarktól nézve a 317. ábrában látható alakot vette fel. Ehez hasonló tüneményt mutattak a melegített gázok. Tehát e gázok magas mérsékletnél diamagnetikusak voltak.

Ha vasat közelítünk valamely delej északi sarkához, a közelített végen ellenkező sark származik, mely a delejsark által vonzatik. A diamagnetismus ellenkező hatás eredménye: az ide tartozó testeken ugyanis egyenlő nevű sark származik, miáltal a közelített test a delejsark által taszittatik.

Az első, ki ezen állitást bebizonyitotta, Reich volt, utána Poggendorff és Weber még feltünőbb módon mutatták azt meg. Ha finom szálra függesztett delejtűt, tőle bizonyos távolságban felállított elektromagnes által eltérítünk, és más oldalról akkép közelítünk egy delejt, hogy ez az elektromagnesnek a tűre gyakorolt hatását ellensúlyozza, akkor a tű gyenge delejesség iránt ismét érzékenynyé válik. Ha az elektromagnes sarkai közé vaspálcát helyezünk, ez delejjé változván, a tűt eltéríti; ha e vaspálcát bismuth-rudacskával helyettesítjük, akkor a tű szintén eltéríttetik, de az előbbivel ellenkező irányban. Tehát a bismuth is delejes lett, csak hogy sarkai meg vannak fordítva.

Plücker továbbá megmutatta, hogy a bismuth villámos tekercsben delejes lesz, de sarkai ellenkezők a tekercs, illetőleg egy behelyezett vasrúd sarkaival.

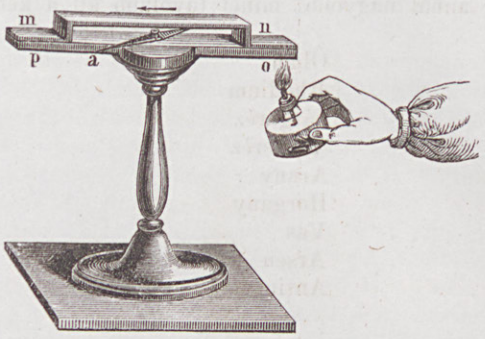
NEGYEDIK FEJEZET.

Hő-villámáramok. Ohm törvénye.

I. Hő-villámáramok.

Seebeck 1821-ben a villámosság új forrását fedezte fel. Ha ugyanis egy bismuth- és egy antimonrudat két végén akkép forrasztunk össze, hogy zárt idomot képezzenek, *mnpo* (318. ábra), akkor az alsó lapra állított delejtű eltér, ha a forrasztott helyek egyikét hevítjük. Ha az előbb hevített helyet a környező mérséklet alá lehűtjük, akkor az eltérés ellenkező irányú.

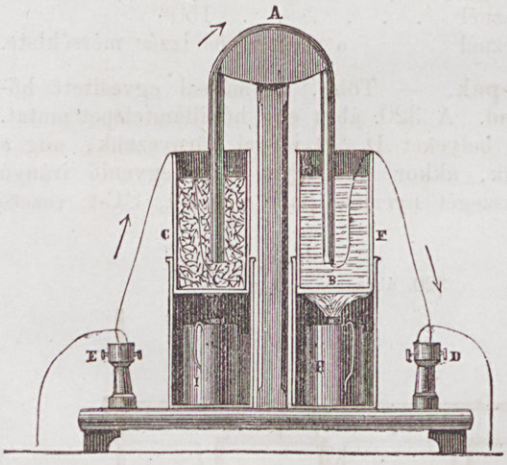
318. ábra.



A tűnek ezen eltérései, majd az egyik, majd a másik oldalra, nyilván villámáram keletkezését mutatják, mely a készüléket az egyik irányban futja át, ha *o* melegebb *p*-nél, és ellenkező irányban, ha *p* melegebb *o*-nál.

Általában bármily fémekből képezett gyűrűben képződik áram, ha az egyik forrasztott hely melegebb a másiknál. Ezt a 319. ábrában lerajzolt készülékkel mutathatjuk meg, mely igen alkalmas a mérséklet-különbségek pontos meghatározására. Az A-nál meggörbített B C fémrúd végeire más fémből készült drótok vannak forrasztva, melyek az E, D csavarokból galvanométerbe vezettetnek. C olvadó jéggel van körülvéve, mialatt B olaj- vagy vízfürdőben, tetszés szerinti mérsékletre hevíthető.

319. ábra.



Seebeck az így előállított villámáramokat hő-villámáramoknak, a két fémdarabból álló készüléket pedig hő-villámelem-nek nevezte.

Különböző fémek, különböző erősséggel és különböző irányban térítik el a delejtűt. Ha két esetben, melyben különböző fémeket egyenlő mérséklet-különbségnél vizsgálunk, a delejtűnek nagyobb eltérítéséből nagyobb elektromotorikus erőre akarunk következtetni, akkor arra kell ügyelnünk, hogy e két esetben a megvizsgálandó fémek egyenlő könnyüséggel vezessék a villámáramot, vagyis, hogy az ellentállások egyenlők legyenek. Azért Bequerel, a különböző fémek elektromotorikus erőinek összehasonlítására, ezekből láncot képezett, melynek tagjai össze voltak forrasztva, és megvizsgálta a delejtű eltérítését, mialatt egy-egy forrasztó hely 20 fokú, a többi pedig 0 fokú volt.

Az ily módon nyert eredmények a fémek következő sorozata által tüntethetők fel. Minden fém a rákövetkezővel összeforrasztva,

a forrasztó hely hevítése által nemleges villámosságot vesz fel. Az elektromotorikus erő pedig annál nagyobb, minél távolabb áll a két fém egymástól.

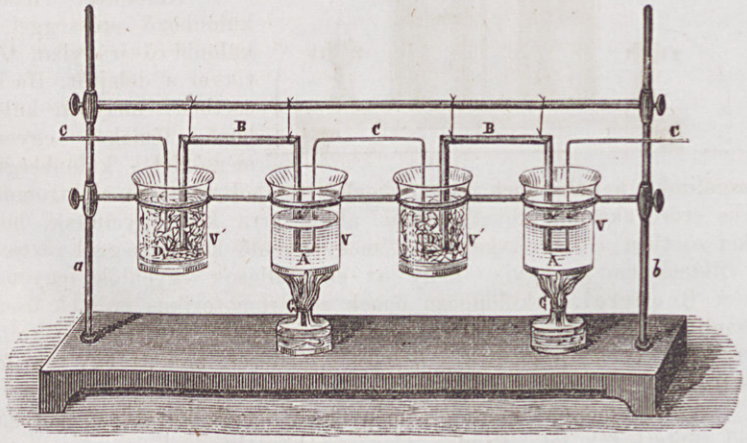
—	
	Ólom
Wismuh	Rhodium
Nickel	Sárgaréz
Platina	Vörösréz
Palladium	Arany
Kobalt	Horgany
Mangan	Vas
Ezüst	Arsen
Ón	Antimon
	+

Míg a mérséklet-különbség csak kis határok közt változik, addig az áram erőssége e különbséggel arányos. Nagyobb különbségeknél e törvénytől eltérések mutatkoznak. Sőt vannak esetek, melyeknél az áram erőssége növekedő mérsékletkülönbséggel csökken, zerus lesz és végre ellenkező irányúvá válik. E mérsékletkülönbség határa

arany és horganynál	. . . . .	150°
ezüst „ réznél	. . . . .	150°
vas „ réznél		a sötét-vörös izzás mérséklete.

2. **Hő-villám-telepek.** — Több, egymással egyesített hővillámelem ilyen telepet ad. A 320. ábra egy hővillámtelepet mutat. Ha a páratlan forrasztó helyeket D, D jéggel környezzük, mig a párosokat A, A hevítjük, akkor mindegyik elem egyenlő irányú áramokat adván, ezek összegét nyerjük, ha a végeket, CC-t, vezető dróttal összekötjük.

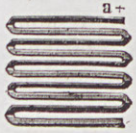
320. ábra.



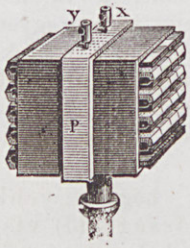
Nobili a bismuth és antimon (a fönnebbi sor két legszélső tagja) összeforasztása által, rendkivül érzékeny telepet szerkesztett, melyet már alkalmazva láttunk a sugárzó hő tanulmányozásánál.

E telep 25 egész 30 bismuth- és ép annyi antimon-rudacskából készül, melyek körülbelül 3—4 centiméter hosszuak. Ezek akkép vannak összeforrasztva, mint a 321. ábrából látható, hogy a páros forrasztó helyek mind egy oldalon, a páratlanok pedig a másik oldalon vannak.

321. ábra.



322. ábra.



Az egész tömött négyszöget képez (322. ábra), mert a közegek szigetelő anyaggal, például gypszszel vannak kitöltve. Az első pár bismuthrúdja az x csavarral, az utolsó antimonrúdja y-nal van vezető összeköttetésben. E csavarok tehát a telep két sarkát képezik, melyekkel a multiplicator végei kapcsoltatnak össze. Ha e készülék egyik felületére hősugarak esnek, míg a másik a környezet mérsékletével bír, akkor villámáram keletkezik, melynek erőssége, kis határok közt, a mérsékletkülönbséggel arányos.

II. Az ellentállás.

Már fönnebb tapasztaltuk, hogy ha valamely áramba voltamétert iktatunk, akkor az áram gyengül. Ugyanezt tapasztaljuk bármilyen testnél, minden vezető többé-kevésbbé gyöngíti az áramot. Tehát ugyanazon elektromotorikus erő mellett az áram különböző erősségü lehet. Az áram gyengítését a vezető által akkép képzeljük magunknak, hogy a vezetők az áram keringésének ellentállanak, vagy hogy a különböző vezetők az áramot nem egyenlő könnyűséggel vezetik, vezető-képességük különböző.

Az áram erőssége tehát ugyanazon elektromotorikus erő mellett a záró vezetők szerint különböző lesz. Az első ki megállapította, hogy az áram erőssége mikép függ a záró vezetőktől, Ohm volt. Ő elméletileg vezette le ezen összefüggést. Valamivel később Pouillet, Ohmtól függetlenül, kisérleteiből ugyanazon eredményt nyerte.

III. Pouillet kisérletei.

1. A legegyszerűbb eset tanulmányozására, Pouillet a hővillámelemet vizsgálta meg. Több egyenlő bismuth-rudat U alakulag meggörbített (ABC 319. ábra), és a már fönt leírt módon C és B-hez két rézdrótot forrasztott, CE és BD-t; a forrasztó helyeket egy-egy fürdőbe tette, G és F, melyeknek egyike zerus másika 100 fokú volt. Az egyes elemek majdnem tökéletesen egyenlők voltak. Pouil-

let két ilyen elem sarkait különböző drótokkal kötötte össze, és befolyásait az áramerősségre megvizsgálandó, egymásután megváltoztatta a drótok anyagát, hoszszát és keresztmetszetét. A talált eredmények a következők:

a) Az egyik elem sarkait l_1 hosszúságú dróttal kötötte össze, a másikéit ugyan-e drót l_2 hoszszával; e drótokat ugyanazon galvanométerre ellenkező irányban tekerte, és megszámlálta ama körültekerések számát, melyeknél a tű nem téríttetett el, vagyis, melyeknél a két elem delejes hatása egyenlő volt. Mindig azt találta, hogy a körültekerések száma a drótok hoszszával arányos, az elsőből l_1 körültekerésnek megfelel a másodikból l_2. S minthogy az áram delejes hatása arányos a körültekerések számával, mondhatjuk, hogy azon áram, melyből kétszer annyi körültekerés volt szükséges, kétszer gyöngébb.

E kisérletből tehát következik, hogy egyenlő elektromotorikus erő mellett az áram erőssége (J) visszás arányban van a sarkokat összekötő drótok hoszszával; vagyis

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

b) Ismételjük az előbbi kisérletet ugyanazon anyagú és egyenlő hosszúságú drótokkal, melyeknek keresztmetszetei s_1 és s_2 különbözők. Hogy ezen esetben a tűre gyakorolt hatások egyenlők legyenek, a galvanométerre alkalmazott körültekerések számának a keresztmetszetekkel visszás arányban kell lenni, az elsőből s_2 körültekerésnek megfelel a másodikból s_1.

Tehát ekkor

$$J_1 s_2 = J_2 s_1 \qquad \text{vagyis}$$

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{s_1}{s_2}$$

Az áram erőssége, különben egyenlő körülmények között, a vezető drót keresztmetszetével arányos.

c) Egyenlő hosszú és egyenlő keresztmetszetű drótoknál különböző anyagokból, az áram erőssége mindegyik anyagra nézve állandó (fajlagos) tényezővel arányos.

Ezen eredményeket a következő képletbe foglalhatjuk:

$$1) \ldots\ldots\ldots\ldots J = A \cdot \frac{c \cdot s}{l}$$

A az elemtől függ, és az áram erősségét adja, ha c, s és l egységek; ez az elem elektromotorikus erejének mértéke.

c a drót anyagának vezető-képessége, mely számokban, valamely tetszés szerint választott fémhez viszonyítva, fejezhető ki. Siemens ajánlatára a vezető képességek egységeül a higany vezető képessége vétetett fel, úgy hogy 1 méter hosszú és 1 négyszög mm. keresztmetszetü higanyoszlop képezi az egységet.

2. Egyenértékü vezetők. — Ellentállás. — Ha ugyanazon elem két sarkát különböző drótokkal kötjük össze, melyeknek méretei l, l' és s, s', vezető-képességei c, c', akkor az áram erőssége e két esetben

$$J = A \cdot \frac{cs}{l} \text{ és } J' = A \cdot \frac{c's'}{l'}$$

A kettő egyenlő lesz, ha

$$\frac{cs}{l} = \frac{c's'}{l'}$$

Ezen esetben az egyik drótot a másikkal helyettesíthetjük, s ekkor azt mondjuk, hogy e vezetők egyenértéküek.

Olyan drótot, melynek keresztmetszete és vezető-képessége egységek, normal-vezetőnek mondunk. Az előbbi képlet segítségével, bármily vezetőt normal-vezető hoszszában fejezhetünk ki. Ugyanis az egyenértékü normal-vezető hoszsza r annál nagyobb lesz, minél hosszabb az adott drót, és minél kisebb vezető-képessége és keresztmetszete, vagyis

$$2) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots r = \frac{l}{c \cdot s}$$

r-t redukált hossznak, vagy az l, c, s vezető ellentállásának szokás nevezni.

E szerint az áram erősségét kifejező képlet lesz

$$3) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots J = \frac{A}{r}$$

vagyis az áram erőssége egyenlő az elektromotorikus erő és az ellentállás hányadosával.

A, A', A'' ..... elektromotorikus erővel bíró telep áramerőssége az egyes erősségek összege lesz, vagyis

$$4) \ldots . J = \frac{A + A' + A'' + \ldots\ldots}{r} = \frac{\Sigma A}{r}$$

Ha valamely elem sarkai több, egymáshoz kapcsolt vezetővel vannak összekötve, s e vezetők anyagra, keresztmetszetre és hosszra nézve egymástól különböznek, akkor az áram erősségét a következő módon számíthatjuk ki.

Legyenek c, l, s; c', l', s'; c'', l'', s'' ..... az egyes vezetők adatai, akkor a következő r, r' r'' ..... hosszúságú normál-vezetőkkel helyettesíthetők :

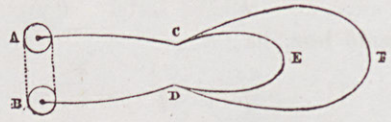
$$r = \frac{l}{cs}, \quad r' = \frac{l'}{c's'}, \quad r'' = \frac{l''}{c''s''}, \quad \ldots\ldots$$

Az e drótokat egyenlő keresztmetszetü ($s = 1$) és egyenlő vezető-képességü ($c = 1$) helyettesítő vezető hoszsza $r + r' + r'' \ldots\ldots$ Az áram erőssége tehát lesz

$$J = \frac{A}{r + r' + r'' + \ldots\ldots} = \frac{A}{\frac{l}{cs} + \frac{l'}{c's'} + \frac{l''}{c''s''} + \ldots\ldots}$$

3. **Elágazó vezetők.** — Valamely elem két sarka A és B 1) két drót által, A C és B D, (323. ábra) össze van kapcsolva, melyeknek redukált hoszsza legyen r; 2) C és D-hez erősített két drót által

323. ábra.



C E D és C E' D, melyeknek redukált hoszszai r' és r'': mekkora az áram erőssége: 1) az egyszerű vezetőben A C és B D-ben; 2) a szétágazó vezetők mindegyikében, C E D és C E' D-ben?

Helyettesítsük r' és r''-et egyenlő vezető-képességgel biró drótokkal, melyeknek hoszszai egyenlők az egységgel és keresztmetszetei x' és x''; akkor a 2) egyenlet szerint

$$r' = \frac{1}{x'} \text{ és } r'' = \frac{1}{x''}$$

Ez által a C E D és C E' D drótok két, egyenlő hosszú drótok által vannak helyettesítve, melyeket $x' + x''$ keresztmetszettel biró egyszerü drótnak tekinthetni; e keresztmetszetre nézve áll hogy

$$x' + x'' = \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''} = \frac{r' + r''}{r' r''}$$

e drót redukált hoszsza pedig

$$\frac{l}{cs} = \frac{1}{x' + x''} = \frac{r' r''}{r' + r'}$$

E hosszúsághoz adván az A C és B D redukált hoszszát r-et, oly vezetőt nyerünk, melynek redukált hoszsza

$$r + \frac{r' r''}{r' + r''}$$

Az áram erőssége tehát a 3) egyenlet szerint:

$$J = \frac{A (r' + r'')}{r (r' + r'') + r' r''}$$

C E D és C E' D ágakban külön-külön az áram erősségét i' és i''-et, azon fölvételből számíthatjuk ki, hogy az összes erősség az egyes ágakban a keresztmetszetek, x' és x'' arányában oszlik meg. E szerint

$$\frac{i'}{i''} = \frac{x'}{x''} = \frac{r''}{r'} \text{ és } i' + i'' = J \quad \text{innen}$$

$$i' = \frac{r''}{r'} (J - i') \quad \text{és ebből}$$

$$i' = J \cdot \frac{r''}{r' + r''};$$

J értékét helyettesítvén, lesz

$$i' = \frac{A r''}{r(r' + r'') + r' r''} \qquad \text{ép úgy}$$

$$i'' = \frac{A r'}{r(r' + r'') + r' r''}$$

Ezek után könnyű az általános esetet megvizsgálni, melynél az áram n ágra oszlik szét.

III. Chemiai telepeknél.

Az itt talált egyszerű törvények nem alkalmazhatók folyadékokkal működő telepekre, minthogy ezeknél az áramnak nemcsak a külső ellentállást R-et, hanem a folyadék ellentállását r-t is le kell győzni, a mit belső ellentállásnak neveznek. Az alkalmazandó képlet tehát volna

$$J = \frac{A}{R + r}$$

Szigorúan véve a hő-villámtelepekre is e képletet kellene alkalmaznunk, de ezeknél a belső ellentállást elhanyagolhatjuk, mivel a bismuth-rudak oly vastagok, hogy ellentállásuk igen csekély.

Pouillet e képletet a tangens-bussol segítségével igazolta. Legyen például a bussolra tekert drót ellentállása λ, ha ehez egymásután λ_1, λ_2, ... ellentállású drótot iktatunk a vezetőbe, ekkor az észlelt áramerősségekre J_1, J_2, ... nyerjük a következő egyenleteket:

$$J_1 = \frac{r + \lambda + \lambda_1}{A}$$

$$J_2 = \frac{r + \lambda + \lambda_2}{A}$$

.....

Két ilyen egyenletből A-t és r-t nyerjük, a többi pedig a törvényt igazolja.

Vizsgáljunk egy n állandó elemből álló telepet. Az egyes elemek elektromotorikus ereje legyen A_1, A_2, A_3, ..., és a belső ellentállás r_1, r_2, r_3, ... Mindegyik elem árama legyőzi a külső ellentállást R-t, és valamennyi elem belső ellentállását, úgy, hogy az első elem áramának erőssége

$$i_1 = \frac{A_1}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \ldots.}$$

a másodiké

$$i_2 = \frac{A_2}{R + r_1 + r_2 + r_3 + \ldots.}$$

.....

Az egész telep áramerőssége ezek összege lévén, lesz

$$5) \ldots J = \frac{A_1 + A_2 + \ldots. + A_n}{R + r_1 + r_2 + \ldots. + r_n} = \frac{\Sigma A}{R + \Sigma r}$$

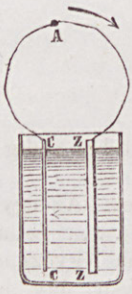
Ha a telep n egyenlő elemből áll, úgy hogy az elektromotorikus erőket és a belső ellentállásokat egyenlőknek vehetjük fel, akkor az 5) képlet a következőbe megy át:

$$J = \frac{nA}{R + nr} = \frac{A}{\frac{R}{n} + r}$$

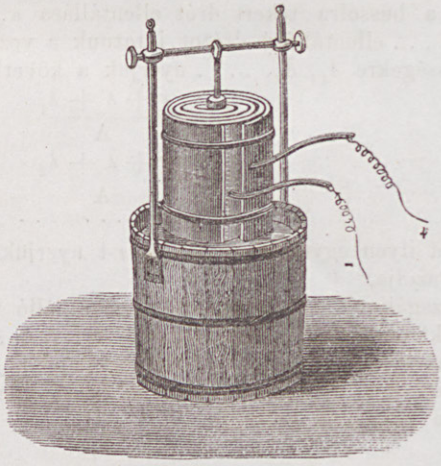
Ha R igen nagy r-hez képest, — ez bekövetkezik, ha a vezető igen hosszú vagy igen vékony drótból áll, és az elektrolysisnél, — akkor az erősség képlete $J = n \cdot \frac{A}{R}$, tehát az áram erőssége ezen esetben arányos az elemek számával.

Ha pedig R elhanyagolható r mellett, akkor $J = \frac{A}{r}$, a miből látjuk, hogy ezen esetben az áram erőssége nem az elemek számától, hanem csupán minőségüktől függ. Ezen eset adva van, ha a záró drót vastag és rövid; azért ekkor nagy felületü egymáshoz közel álló lemezeket használunk az áram előidézésére. A belső ellentállás ugyanis a CCZZ (324. ábra) folyadék-prismától függ, és a CC felülettel egyenes CZ-vel pedig visszás arányban van.

324. ábra.



325. ábra



Nagy fémfelület elérésére Hare a következő elemet szerkesztette. Több méter hosszú réz- és ép oly horganylemez egyik végükkel farúdra vannak szegezve; érintkezésük parafalemez által van meggátolva. Mindkét lemez a rúd körül tekertetik, mire az egész rendszert higított salétromsavval telt edénybe állítják (325. ábra). Ezen elem árama igen alkalmas nagy delejes- vagy hőhatások előidézésére.

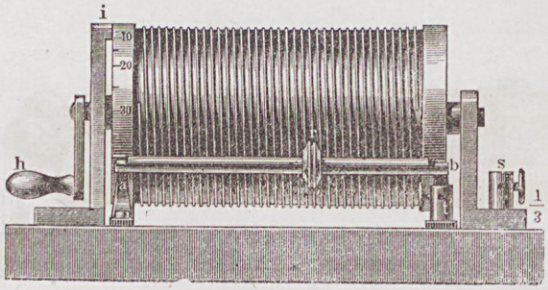
Adott n elemből n-szeres felületü elemet akkép állíthatunk elő, ha valamennyi igenleges fémet egymással, valamint a nemlegeseket is összekötjük.

IV. A vezető-képesség mérése.

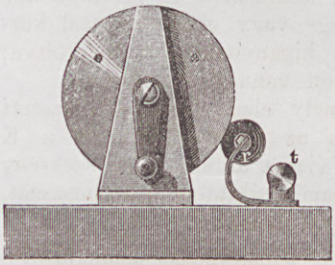
Az Ohm-féle törvényt csak akkor hasznosíthatjuk, ha az alkalmazott anyagok vezetőképességét és az elemek elektromotorikus erejét ismerjük. Határozzuk meg először a vezető-képességeket.

1. **A rheostat.** — Különböző ellentállások meghatározására majdnem egyidejüleg Wheatstone és Jacobi a rheostatnak nevezett készüléket szerkesztették. A 326. és 327. ábrák oldal- és homlok-nézetben mutatják e készüléket. Serpentín- vagy márvány-hengerbe kis mélyedésü csavarvonal van metszve, melybe $^1/_2$ egész 1 mm. vastagságú drót van illesztve; rézdrótot használunk, ha kis ellentállást és új ezüstöt, ha nagy ellentállást kívánunk. A drót vége a henger anyagán átvezetve, a fémtengelyre van forrasztva. E fémtengely nem hatja át a kőhengert.

326. ábra.



327. ábra.



A csavardrótra az r karika szorul, mely az ab fémrúdon tovább csúszhat, és a drót vastagságának megfelelő mélyedéssel van ellátva. A rúd két végén erős rugókra rt (327. ábra) van erősítve.

Könnyen belátható, hogy az r karika az ab rúdon tovább csúszik, ha a hengert a h fogó segítségével forgatjuk; a mozgás iránya a forgás irányától függ.

Ha e készüléket akkép iktatjuk valamely áram vezetőjébe, hogy az egyik drótot az s csavarba, a másikat t-be erősítjük, akkor az s-nél belépő áram a réztartón át a fémhengerhez ér, és innen a drótra, melyen egészen r-ig hatol, és r-től a fémrúdon át a t csavarba jut. Tehát az r karika állásától függ, hogy az áram a drót mekkora részét futja át.

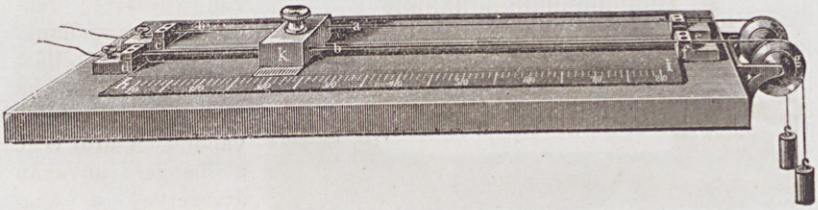
Az ab rúd osztályzattal van felszerelve, melynek minden osztópontja egy körültekerésnek felel meg, és melynek zérus pontján áll az r karika, ha a drót kiinduló pontjához szorul. Hogy ezen osztályzat hányadrészeit is le lehessen olvasni, a henger rézburokja 100 egyenlő részre van osztva, mely osztályzat az i mutatón olvasható le.

A rheostatot adott drót ellentállásának meghatározására a következő módon használjuk. Állandó elem vezetőjébe beiktatjuk

1) a zérusra beállított rheostatot, 2) a tangensbussolt és 3) az adott drótdarabot. Miután feljegyeztük a tű eltérített állását, a drótdarabot eltávolítjuk, ez által a tű természetesen nagyobb eltérítést mutat; már most a rheostat hengerét addig forgatjuk, míg a tű előbbi állását foglalja el, ekkor az osztályzaton leolvashatjuk, hogy a keresett ellentállás a rheostat mekkora drótjának felel meg. A rheostat drótjának ellentállását egyszer mindenkorra valamely egységnek választott ellentállásban fejezhetjük ki.

2. **A rheochord.** — Pontos mérésekre az előbbinél alkalmasabb Poggendorff rheochordja (328. ábra). Két platina-drót *a*

328. ábra.

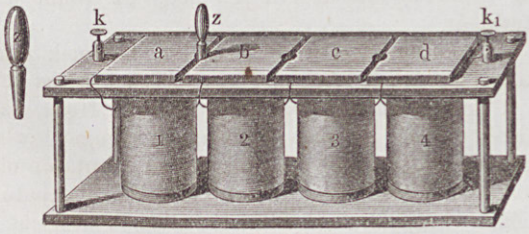


és *b* deszka fölött akkép van megerősítve, hogy csak a K fémen át vannak összekapcsolva. Egyrészt *c* és *d*, másrészt *e* és *f* réztokokba vannak szorítva. A K tolószekrény üveg- vagy elefántcsonttal környezett vaspléhedényt tartalmaz, mely higanynyal van megtöltve; a drótok épen nekik megfelelő nyilásokon vannak átvezetve.

Ha a *c* és *d* rézcsavarokba valamely elem sarkaiból vezetett drótok vannak erősítve, akkor az áram az egyik dróton át a K szekrénybe, és innen a másik dróton vissza áramlik. A szekrény helyzete által megváltoztathatjuk az áramba iktatott drót hoszszát, melyet egy osztályzaton pontosan le lehet olvasni.

3. **Siemens dugaszkészüléke.** — Ellentállások meghatározására igen kényelmes kész tekercseket használni, melyek ellentállásai oly arányban vannak, mint 1, 2, 3, ...-hez. A tekercsek két deszka közé vannak állítva (329. ábra), s mindegyik tekercs fölé aranyozott

329. ábra.

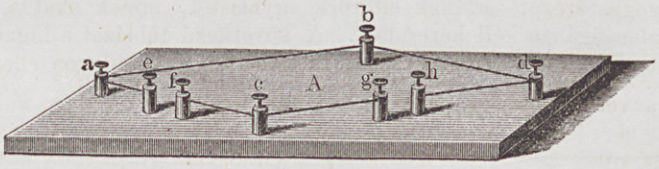


rézlemez van helyezve (a, b, c, ...). A K csavar az a lemezzel, és K' a d lemezzel áll vezető összeköttetésben. Az 1 tekercs egyik vége a-val és másika b-vel érintkezik; a 2 tekercs végei b-vel és c-vel s i. t. Az a, b, c, ... lemezek egymással szemközt félköralakú vágásokkal birnak, melyekbe aranyozott rézdugaszok (z) szorosan bele illenek. Ha a telep drótjai K és K'-be vannak erősítve, és valamennyi dugasz el van távolítva, akkor az áram rendre az 1, 2, 3 és 4 tekercseken halad át. De ha a és b közé dugaszt teszünk, ekkor az áram direkt a-ból b-be megy át, anélkül, hogy az 1 tekercsen áthaladna. A 3 tekercs kiiktatására c és d közé kell dugaszt illeszteni, s i. t.

4. **Wheatstone hídja.** — A tárgyalt módszerek csak aránylag kis ellentállású drótokra alkalmazhatók, mert hosszabb vékony drótok erős áramok által megmelegíttetnek, gyönge áramoknál pedig a delejtű eltéritései igen csekélyek; azért más módszerek alkalmazását kisérlették meg. E módszerek alapelve az, hogy az áramot két ágra osztván, egyenlően de ellenkező irányban vezetik a tű körül. Ha a két ágban az ellentállások egyenlők, akkor a tű nem téríttetik el, a mi azonnal bekövetkezik, ha az egyik ágban az ellentállást növesztjük vagy csökkentjük.

Ezen elven alapszik Wheatstone hídjának nevezett készülék, melynek legegyszerűbb alakját a 330. ábra mutatja. Egy deszkára

330. ábra.

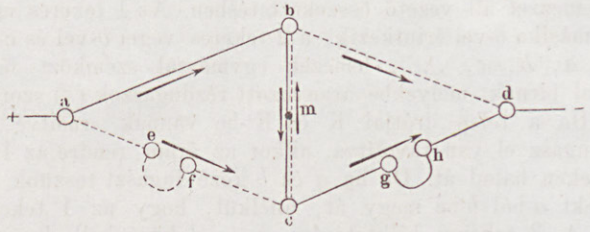


parallelogrammot képező négy rézoszlopocska van erősítve (a, b, c, d); a és c között vannak továbbá az e és f, c és d között pedig a g és h oszlopok. Ezen oszlopok az ábrában látható módon drótokkal vannak összekötve, és csavarokkal felszerelve, más drótok fölvételére.

a és b-be csavartatnak a telep sodronyai, b és c közé pedig a multiplicator van illesztve. Ha az e és f, g és h oszlopokat szintén összekapcsoljuk, akkor az áram több ágazatra oszlik, melyek közül csak azon két ágat veszszük tekintetbe, melyek a b és c közé iktatott multiplicatoron mennek át.

Az áram egyik ága a-tól b-felé az m multiplicatoron át c-ig halad, és innen g és h-n át d-felé, mint a 331. ábrában a kihúzott vonal jelöli. A másik ág, mely a multiplicatoron ellenkező irányban hatol át, a-tól e és f-n át c-felé halad, és innen m-n át b-hez, majd d-hez ér; mint a pontozott vonalak jelölik. Hogy ha tehát az $abcghd$ és az $aefcbd$ vezetők ellentállásai tökéletesen egyenlők, akkor a multiplicatoron ellenkező irányban áthaladó áramok is egyen-

331. ábra.



lők; de a legkisebb különbség által, mely az ágak ellentállásaiban létesül, a tű a zerus ponttól eltér.

Hogy e készülékkel valamely drótdarab ellentállását a rheostat drótjában kifejezhessük, g és h-t dróttal összekötjük, e és f közé pedig a rheostatot iktatjuk, melyet akkép állítunk be, hogy a tű zeruson maradjon. Ha g és h közé még a megvizsgálandó A drótot iktatjuk, akkor a rheostatból bizonyos n számú körültekerést kell még beiktatni, hogy a tű ismét zerusra hozassék vissza. Ezen n számú körültekerés méri az A drót ellentállását.

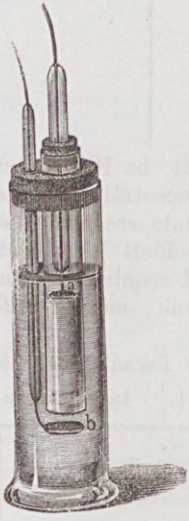
E módszer szerint Siemens számos drót ellentállását határozta meg, és az általa ajánlott higanyegységben fejezte ki.

5. **A fémek fajlagos ellentállásai.** — Dacára a nagy pontosságnak, melyet e készülékekkel elérhetni, a különböző tudósok által meghatározott értékek eltérnek egymástól, minek okát a fémek tisztátalanságában kell keresnünk. A következő táblázat a higanyegységekben kifejezett értéksorozatot tartalmazza. A fajlagos ellentállás c-vel, a vezetőképesség pedig $\frac{1}{c}$-vel van jelölve.

Fémek	c	$\frac{1}{c}$	Fémek	c	$\frac{1}{c}$
	0°-nál			0°-nál	
Higany . . .	1	1	Réz	0·016	63
Wismuth . .	1·33	0·75	Ezüst . . .	0·015	67
Antimon . .	0·36	3	Strontium . .	0·25	4
Ujezüst . . .	0·21	5	Palladium . .	0·13	8
Ólom. . . .	0·20	5	Lithium . . .	0·10	10
Ón	0·13	8	Kalium . . .	0·09	12
Vas	0·099	10	Calcium . . .	0·08	12
Platina . . .	0·092	11	Cadmium . .	0·07	14
Horgany . .	0·057	18	Magnesium . .	0·07	14
Sárgaréz . .	0·051	20	Natrium . . .	0·05	21
Arany . . .	0·021	48			

Emelkedő mérséklettel a fémek vezető-képessége csökken. Igy például a higany ellentállása minden foknál, 0 foknál lévő ellentállásának 0·00095 részével növekszik; az ujezüst-é 0·0004-el, sőt a többi fémek-é 0·004-el növekszik.

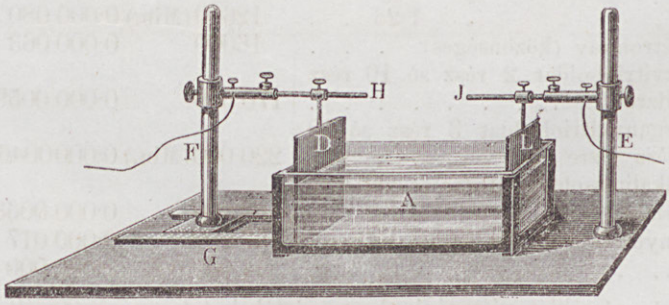
332. ábra.



6. **Folyadékok vezetőképessége.** — A folyadékok vezetőképességének meghatározására ismeretes keresztmetszetű edényben, mely az illető folyadékot tartalmazza, az elektrodokat megmért távolságba helyezzük. E célra akár a 332. ábrában, hol *a* és *b* a két elektrod, akár a 333. ábrában lerajzolt készüléket használhatni. E vizsgálatoknál a főnehézséget az elektrodok polarisatiója okozza, minthogy a folyadék felbomlása által kiváló elemek az elektrodokat megmásítják. Horsford szerint a polarisatió befolyását legjobban úgy kerülhetjük ki, ha az áramot a vizsgálat előtt addig működtetjük, mig a polarisatio-áram maximumát elérte; és csak ezután állítjuk az elektrodokat a kivánt távolságra és olvassuk le a rheostaton az ennek megfelelő ellentállást.

Annak megvizsgálására, hogy valamely oldat ellentállása a feloldott só mennyiségével mikép változik, Beetz a horganyvitriol-oldatot ($ZnSO_4$) nagy pontossággal vizsgálta meg. Az oldat 30 cm. hosszú üvegcsőben amalgamirozott horganylemezekkel el volt zárva; ez esetben polarisatio nem áll elő,

333. ábra.



és ez leginkább abból tünt ki, hogy a Wheatstone-féle híd alkalmazásánál, az áram megfordítása alkalmával, a tű egyensúlya meg nem változott. Továbbá elhárította Beetz azt is, hogy levegő-buborékok ne rakodjanak az elektrodokra, a mit azáltal ért el, hogy a folyadékból főzés által a levegőt kihajtotta.

Eredményei a következők :

100 gr. vízben feloldott $ZnSO_4$ súlya gr.-ban	Vezetőképesség 20 foknál
7·73	0·000 0023
10	0·000 0028
20	0·000 0042
30	0·000 0046
40	0·000 0044
50	0·000 0038
60	0·000 0031
60·79	0·000 0031

Tehát a vezető-képesség maximuma mutatkozott, ha 100 gramm vízben 30 gramm só volt feloldva; gyengébb és concentráltabb oldatok rosszabbúl vezetik a villámosságot. Ehez hasonló eredményeket nyertek Wiedemann és később Paalzow vízben óldott kénsavval; a legjobb vezető az a keverék, melyet nyerünk, ha 1 aequivalens kénsavat (H_2SO_4) 13 aequivelens vízzel (H_2O) keverünk, miáltal 1·23 fajsúlyú folyadékot nyerünk.

A következő táblázat a különböző oldatok 20 foknál meghatározott fajlagos ellentállásait (c) és vezető-képességeit $\left(\frac{1}{c}\right)$ tartalmazza:

Folyadék	c	$\frac{1}{c}$
Higított kénsav, fajsúly 1·01 . .	131600	0·000 008
„ „ „ 1·05 . .	34300	0·000 030
„ „ „ 1·10 . .	18400	0·000 056
„ „ „ 1·23 . .	12600 (Min.)	0·000 080 (Max.)
Salétromsav (közönséges) . . .	16000	0·000 063
Rézvitriol-oldat 2 rész só 10 rész vízre	170 000	0·000 0059
Horganyvitriol-oldat 3 rész só 10 rész vízre	220 000 (Min.)	0·000 0046 (Max.)
Jodkalium-oldat 30 rész só 250 rész vízre	160 000	0·000 0063
Konyhasó-oldat 10 foknál telítve .	57 000	0·000 017
Víz	14 000 000	0·000 000 07

A mérséklet változásával ezen értékek tetemesen megváltoznak.

V. Az elektromotorikus erő mérése.

Az elektromotorikus erők meghatározására igen különböző módszereket alkalmaztak.

1. **Fechner módszere.** — E módszer azon tételen alapszik, hogy, ha különböző elemeket oly nagy ellentállású vezetővel zárunk,

melyhez képest az elemek belső ellentállása elenyésző, akkor az áramerősségek az elektromotorikus erőkkel arányosak.

Az egyik elem áramerőssége

$$J = \frac{A}{R+r}$$

a másik elemé

$$J' = \frac{A'}{R'+r}$$

Ha tehát R és R' r-hez képest elenyésző csekélyek, akkor e két egyenletből lesz :

$$J = \frac{A}{r} \text{ és } J' = \frac{A'}{r}$$

tehát

$$\frac{J}{J'} = \frac{A}{A'}$$

Mivel e módszernél a nagy ellentállás miatt az áram erőssége igen csekély, tangensbussol helyett a sokkal érzékenyebb multiplicatort kell használni. Minthogy e készüléknél az eltérítések az áram erősségével arányosak, azért az eltérítések aránya közvetetlenül megadja az elektromotorikus erők arányát is.

2. **Wheatstone** a megvizsgálandó elemek áramait egymásután a rheostaton és a galvanométeren vezette át, és az ellentállást R-t bizonyos l mennyiséggel növesztette; minden áramra, ennek megfelelően két értéket nyert, ugyanis

$$i = \frac{A}{R} \text{ és } i' = \frac{A}{R+l}$$

e két egyenletből R-t kiküszöbölvén, lesz

$$A = l \cdot \frac{i \cdot i'}{i - i'}$$

Egy másik elemre nézve

$$A' = l' \frac{i i'}{i - i'}$$

tehát

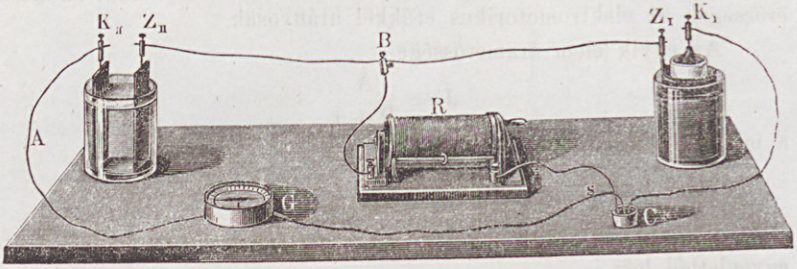
$$\frac{A}{A'} = \frac{l}{l'}$$

E módszerrel azonban csak állandó elemeket lehet megvizsgálni, miután az áramerősség többszöri megmérése hosszabb időt vesz igénybe.

3. **Poggendorff compensatio módszere** változó elemek megvizsgálására is alkalmas. E módszernél a megvizsgálandó elem árama egy állandó és ismeretes elektromotorikus erejü elem által megsemmisíttetik.

A 289. ábrában Z_I K_I az ismeretes állandó elem és Z_{II} K_{II} a megvizsgálandó elem. A két negativ sark Z_I és Z_{II} a B-n átvezetett dróttal van összekötve; valamint a két igenleges sark is a

334. ábra.



$K_{II}GCK_I$ drót által közlekedik, melybe G-nél egy multiplicator van iktatva, és mely C-nél tetszés szerint megszakítható. B és C külön dróttal van összekötve, melybe az R rheostat van iktatva.

Ha a két elem elektromotorikus ereje egyenlő, akkor a leírt berendezés nem egyéb, mint 2 elemből kétszer akkora felületü elem előállítása, mely elem árama BRC vezetőn megy át. De ha az egyik, például $K_{II}Z_{II}$ gyöngébb, akkor az áramok hatásait a II. 3. pontban levezetett egyenletek adják.

Jelölje ugyanis:

l a Z_IK_I elem ellentállását a B és C-ig menő vezetőkkel együtt.
l' $Z_{II}K_{II}$ ellentállásása a vezetőkkel és a multiplicatorral együtt.
r B és C közötti drót ellentállását.
A a Z_IK_I és
A' a $Z_{II}K_{II}$ elem elektromotorikus erejét.

Z_IK_I elem árama B és C-nél két ágra oszlik; az egyik az r ellentállású BC drótot futja át, a másik CGA-n a $Z_{II}K_{II}$ elemen át ér B-hez. Fönnebb II. 3. alatt nyert képleteket az áram erősségére az egyes ágakban itt alkalmazhatjuk. Ugyanis az l' ellentállású ágban az áram erőssége lesz:

$$i = \frac{Ar}{l(l'+r)+r.l'}$$

$K_{II}Z_{II}$ elem áram erőssége I' ugyanezen vezetőben, még mielőtt a CRB és CK_IZ_IB ágakra oszlik, lesz:

$$I' = \frac{A'(l+r)}{l'(l+r)+rl}$$

E két áram ellenkező irányban hatja át a multiplicatort, mely eltérést nem mutat, ha $i = I'$ vagy

$$\frac{Ar}{ll'+lr+rl'} = \frac{A'(l+r)}{ll'+l'r+rl}$$

tehát ha

$$Ar = A'(l+r)$$

Bizonyos A, A' és l értékekre találhatunk tehát oly r értéket, melynél a tű nem térittetik el. Ha ezen r ellentállást a rheostattal

meghatároztuk, ismerjük az adott és a megvizsgálandó elem elektromotorikus erőinek arányát is, mert akkor

$$\frac{A}{A'} = \frac{r}{l + r}$$

Az elektromotorikus erő egységeül Regnault a bismuth és rézből, a fönt leírt módon készített, hő-villámelem elektromotorikus erejét ajánlotta (0 és 100 fok mérsékletnél). De ezen egység nem lett általánosan elfogadva, mert kitünt, hogy ilyen elem hatása igen változó a bismuth molekularis szerkezete, illetőleg jegeces állapota szerint. Általánosabban elfogadott egység a Daniell-féle elem elektromotorikus ereje.

4. **Eredmények.** — A különböző módszerek szerint végrehajtott mérések a következő eredményekre vezettek.

a) Egy vezetőben keringő áramok hatása az egyes áramok algebrai összege.

b) Az elektromotorikus erő független a felületek nagyságától, melyeken működik, valamint ezen anyagok mennyiségétől is.

c) Ugyanazon fémeknél változik a folyadék nemével, de a concentratio fokával csak igen keveset változik.

d) Ugyanazon folyadéknál változik a fémek nemével, és horgany-, kalium-, natrium-nál növekszik, ha amalgamirozva vannak. De az erre használt higany mennyiségétől független.

e) Likacsos válaszfalak (diaphragmák), melyek a folyadék által meg nem támadtatnak, megváltoztatják ugyan az ellentállást, de az elektromotorikus erőre befolyással nincsenek.

E törvényekből következik, hogy valamely elem elektromotorikus ereje egyszermindenkorra meghatározható állandó mennyiség, ha ismerjük a folyadékot és a fémeket, melyekből áll. A következő táblázat a szokásos elemek elektromotorikus ereit tartalmazza, a hő-villanyelem egységeiben kifejezve.

Az elemek összetétele			Az elemek nevei	Elektromotorikus erő
Hő-villanyelem			. . . . .	1
Horgany, tiszta $ZnSO_4$	SO_4Ca	Cadmium	Horgany-Cadmium	55
Horgany, tiszta H_2SO_4	. . . .	Réz	Wollaston	99
Horgany, amalg. $CuSO_4$	. . . .	Réz	Wheatstone . . .	153
Horgany, tiszta $ZnSO_4$	$CuSO_4$	Réz	Daniell	175
Horgany, amalg. H_2SO_4	$CuSO_4$	Réz	Daniell	183
Horgany, amalg. H_2SO_4	HNO_3	Platina	Grove	318
Horgany, amalg. H_2SO_4	HNO_3	Szén	Bunsen	319
Horgany, amalg. $ClNa$	HNO_3	Platina	. . . . .	416

Tudjuk, hogy a voltaméterben kiszabaduló gázok polarisatiót idéznek elő, mely az áramot gyengíti.

Becquerel e polarisatio elektromotorikus erejét meghatározta. és a következő értékeket találta az amalgamírozott horgany és felsorolt fémekből álló elemeknél :

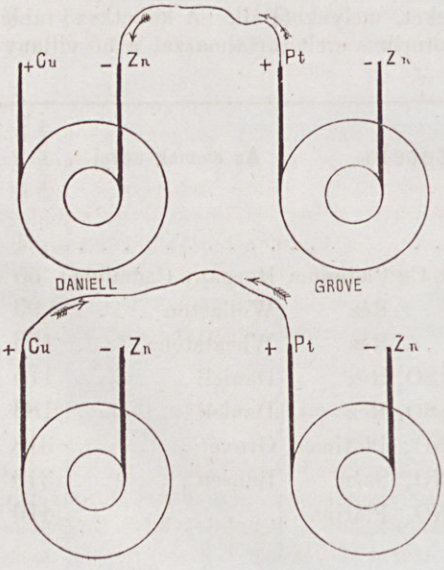
Amalgamírozott horgany és	a hydrogen polarisatiójából keletkező elekromotorikus erő
Arany	48·88
Platina	43·38
Ezüst	39·75
Higany	39·75
Réz	27·50
Horgany, amalgamírozott .	2·00
„ tiszta	1·75

Két érintkező folyadék egymásra való hatásánál szintén mutatkozik elektromotorikus erő, mely általában igen gyönge, mint a következő táblázat mutatja :

Két oldat hatása.

Nemleges oldat.	Igenleges oldat.	Elektromotorikus erő.
Telített rézvitriol .	Higított kénsav .	5·50
Higított kénsav . .	Tiszta salétromsav	19·25 egész 21
„ „ . .	Chromsav . . .	27·80
Chlorhydrogensav .	Tiszta salétromsav	52·50
Kalilúg	„ „	55·50

335. és 336. ábra.



5. **Következtetések.** — Ha két elemet, egy Daniell-t és egy Grove-t akkép kapcsolunk össze, hogy az áramok egyirányúak legyenek (335. ábra), akkor az elektromotorikus erő a kettőnek összege : $183 + 318 = 501$.

Ha pedig az összekötés olyan, mint a 336. ábrában, ekkor az elektromotorikus erő a kettő különbsége :

$$318 - 183 = 135.$$

Ugyanezen elektromotorikus erővel bir olyan elem, mely rézvitriolban álló rézből és salétromsavban álló platinából áll; a réz, mely a Daniell elemnél az igenleges sarkot képezte, itt nemleges sark.

Általában valamely elem elektromotorikus ereje kiadódik, ha a nemleges fém és folyadéka közt fejlődő elektromotorikus erőből levonjuk az igenleges fém és folyadéka közt fejlődő elektromotorikus erőt; ezen kivül még a polarisatio elektromotorikus erejét kell kivonnunk, és hozzá adni vagy kivonni a folyadékok érintkezésénél fejlődő erőt.

Ezek szerint két elemből igen egyszerű módon egy harmadik elem elektromotorikus erejét számíthatjuk ki, ha az elemeket a következő egyenletek alakjában irjuk:

$$\text{Daniell} \quad -(Zn \ldots . H_2SO_4) + (Cu \ldots . CuSO_4) = 183$$
$$\text{Grove} \quad -(Zn \ldots . H_2SO_4) + (Pt \ldots . HNO_3) = 318.$$

Ha a fölső egyenletet az alsóból levonjuk, nyerünk egy új elemet elektromotorikus erejével együtt:

$$-(Cu \ldots . CuSO_4) + Pt \ldots . HNO_3) = 135.$$

ÖTÖDIK FEJEZET.

Joule törvénye.

I. A záró vezetőkben fejlődő meleg mérése.

1. Ha valamely galvan-batteriát vékony dróttal zárunk, akkor a drót megmelegszik annyira, hogy izzásba is jöhet. E tény nem sokára a galvanismus fölfedezése után észleltetett, és már Davy megmutatta, hogy a drót, egyenlő áramerősség mellett, annál nagyobb mértékben melegszik meg, minél nagyobb ellentállása.

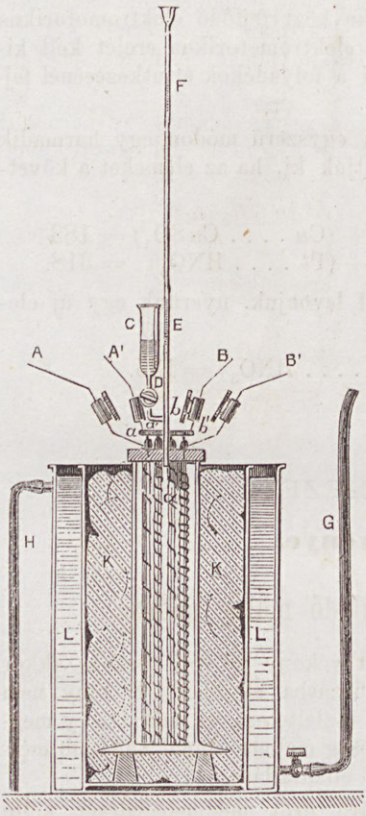
Joule volt az első, ki a záró drót megmelegedését kellő pontossággal meghatározta. Joule az áramot egy tangensbussolon átvezette, mely annak erősségét adta meg, és azután vizcaloriméterbe helyezett vékony dróttekercscsel zárta, mely tekercsnek ellentállása r előlegesen meghatároztatott. A viz, melylyel a drót melegségét közölte, melegebb lett, és e mérsékletnövekedésből kiszámította az időegységben fejlődött melegmennyiséget w-t. E kisérletekből azon alaptörvény adódott ki, hogy a fejlődött melegmennyiség a drót ellentállásával, és az áramerősség négyzetével arányos, vagyis

$$w = C \cdot ri^2$$

C az arányosság tényezője csak azon egységektől függ, melyekben r és i-t kifejezzük.

E törvény helyességét a következő készülékkel igazolhatjuk (337. ábra). Ez egy hőmérő, melynek edénye $\alpha\beta$ elzárt eprouvetta, és szigetelő folyadékkal, mint alkohol-, benzin- vagy terpentinnel van megtöltve. A hőmérő szárát a vékony EF cső képezi, mely

337. ábra



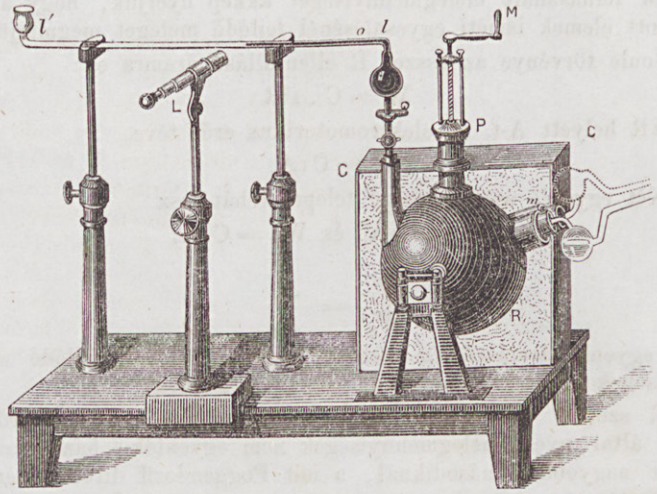
a D csappal elzárható tágasabb C csővel közlekedik. A D csap megnyitása által a folyadék felszinét minden pillanatban E-ig lehet leereszteni; a kisérlet kezdetén a D csapot elzárjuk, hogy a hevités által kiterjedt folyadék csak az EF csőbe száljon. A caloriméter vizedényében 4 dróttekercs van elhelyezve, melyek az a, a', b, b' fémgombokban végződnek és melyeknek ellentállásai oly arányban vannak, mint 1 : 2 : 4 : 8-hoz, úgy, hogy az áramot különböző ellentállású vezetőkön bocsáthatjuk át. A mint az áramot zárjuk, a hőmérő folyadéka a fejlődő hőmennyiséggel arányosan emelkedik. S minthogy a készülék rendkivül érzékeny, a legkisebb áramok hatnak, miáltal a nyert értékek a legnagyobb pontossággal igazolják a törvényt.

2. **Folyadékok megmelegedése.** — Joule törvényét folyadékokra is kiterjesztette, és bebizonyitotta rézvitriol hevítése által rézlemezek közt. Becquerel e kisérletet ismételte és kiterjesztette horganyvitriol hevítésére horganylemezek közt, és a törvényt igazolva találta. Ez természetesen csak olyan esetekre állhat, mint a felsoroltak, a hol a folyadék felbontására melegség nem használtatik fel; ugyanis a mennyi melegmennyiség felhasználtatik a réz feloldására az igenleges sarknál, annyi szabadul ki a nemleges sarknál a réz kiválása által; ép úgy van horganynál horganyvitriolban. Általában pedig annyival kisebb a talált melegmennyiség, a mennyi a folyadék szétbontására felhasználtatik.

3. **Melegfejlődés a telepekben.** — Ugyan-e törvény adja meg a telepekben kifejlődő melegmennyiséget, mit Favre a következő készülék segitségével bizonyitott be.

Körülbelül 4 liter higanyt tartalmazó vasgömb (338. ábra) vízszintesen meghajtott üvegcsővel (lo) áll kapcsolatban. A gömbbe két vékony vaspléh-henger (m) van vezetve, melyek üvegedényeket tartalmaznak; ezek egyikében egy Smée-elem, azaz kénsavba mártott platina- és amalgamirozott horganylemez volt, és másikában ismeretes r ellentállású platina-drót. Igy külön az elemet is, az ellent-

338. ábra.



állást is megvizsgálhatta. A mérséklet növekedését a higany állásából a vízszintes csőben ítélte meg. Az M csavarral acélrudat lehetett a higanyba tolni, miáltal a kisérlet előtt a higany állását az *lo* csőben szabályozni lehetett.

Favre az összes melegmennyiséget különböző ellentállásoknál mérte meg, és azt találta, hogy a fejlődött melegmennyiség állandó marad; és pedig akkora, mint a mennyi az elemben végbemenő vegyülésekből fejlődik.

Azon idő alatt ugyanis, mely alatt az elemben egy aequivalens horgany, 32·6 gr. feloldódott, közép mértékben 18160 melegegység fejlődött, mely melegmennyiség csakugyan 32·6 gr. horganynak horganyvitriollá való alakitásánál fejlődik. Ugyanis

a horganynak oxyddá való átváltozásánál fejlődik	42612	melegegység
$ZnSO_4$ képzésénél és feloldásánál	10398	„
	53010	
Minthogy ez alatt 1 gr. hydrogen is fejlődik, az erre használt melegmennyiség	34462	levonandó
	18548	

mely szám 18160-al az észlelet eredményével eléggé megegyez.

Ebből tehát látjuk, hogy ha az áram munkát nem hajt végre, az elemben fejlődött munka egyenértéke mint melegség lép föl.

De az áram munkát is hajthat végre, nevezetesen ha folyadékot felbont — ez esetben a hőmennyiség, mely e felbontásra felhasználtatott, eltünik, és az észlelt melegmennyiség ezzel csökkent.

Ezt Favre higanycaloriméterével szintén direct megmutatta. A felbontásra felhasznált melegmennyiséget akkép nyerjük, hogy a szétválasztott elemek isméti egyesülésénél fejlődő meleget megmérjük.

Joule törvénye az összes R ellentállású áramra ez:

$$W = C \cdot i^2 R$$

vagy, iR helyett A-t, az elektromotorikus erőt téve,

$$W = CiA.$$

Két egyenlő áramerősségü telepre tehát lesz

$$W_1 = CiA_1 \text{ és } W_2 = CiA_2$$

tehát

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

azaz: egyenlő áramerősség mellett, egyenlő időben fejlődő melegmennyiségek az elektromotorikus erőkkel arányosak.

E szerint egy Grove- és egy Daniell-elem egyenlő erősségü áramai által nyert melegmennyiségek nem egyenlők, hanem az első 1·7-szer nagyobb a másodiknál, a mit Poggendorff direct kisérlettel is megmutatott.

II. A záró vezető mérséklete.

1. Tegyük, hogy a záró vezető egy része, melynek ellentállása r, az idő-egységben felvesz w melegmennyiséget és ezáltal mérséklete a környezet mérsékleténél t fokkal emelkedik. E mérséklet-túlmány állandóan megmarad akkor, ha a vezető az időegységben annyi meleget ad át a környezetnek, a mennyit nyer.

A környezetnek átadott melegmennyiség arányos a vezető felületével, a mérsékletkülönbséggel t-vel, és egy α tényezővel, mely részint a felület, részint a környezet minőségétől függ.

Ha a sodrony átmérője d, és hoszsza l, tehát felülete πdl, akkor a mérséklet állandósága a következő egyenlet által van adva:

$$w = Ci^2 r = \alpha \cdot \pi dl \cdot t$$

az ellentállás arányos lévén a sodrony hoszszával l-el, és visszás arányban a keresztmetszettel $\frac{\pi d^2}{4}$-el, r helyett $\frac{4l}{\pi d^2 \cdot c}$-t irhatunk; továbbá i helyett $\frac{A}{R}$-t irván, lesz:

$$C \cdot \frac{A^2}{R^2} \cdot \frac{4l}{\pi d c} = \alpha \pi dlt$$

$\frac{4C}{\pi}$-t egy új állandóval M-el helyettesíthetjük, és így az utolsó

$$t = M \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{d^3} \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{A^2}{R^2}$$

E képletből következik:

1) Ha az áramot záró vezető több egyenlő vastagságú, de különböző vezetőképességü drótból áll, például platina és rézből, akkor mérsékletei t és t' vezetőképességeivel c és c'-el visszás arányban lesznek. Megeshetik, hogy a platina izzásba jön, mialatt a réz még sötét marad.

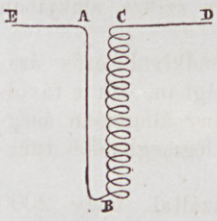
2) t a drót átmérőjével d^3-al visszás arányban van; igy tehát vastag és vékony platinadrótokból álló vezetőben a vékonyak izzásba jőhetnek, míg a vastagak sötétek maradnak.

3) t a teljes ellentállás négyzetével R^2-el visszás arányban van; tehát t az alkalmazott teleptől függ. Ha az elemeket nagyítjuk, anélkül, hogy számukat növesztenők, akkor R kisebbedik, mialatt az elektromotorikus erő A állandó marad, tehát t növekszik.

4) Miután t a környezettől, α-tól is függ, nevezetesen a környező gáz hővezetőképességétől, megeshetik, hogy bizonyos körülmények között a levegőben izzó drót, hydrogenben, a hőt jobban vezető gázban, nem jön izzásba.

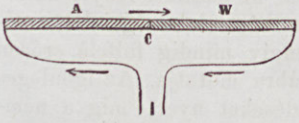
5) A tünemények gyakran nem oly egyszerüek, mint a minőknek itt felvettük, mivel a fémek vezetőképessége a mérséklettel csökken. Az áram első hatása az, hogy a drótot megmelegíti, de ennek következtében c kisebbedik, és igy az összes ellentállás R nagyobbodik. Ebből magyarázható Davy következő érdekes kisérlete.

339. ábra.



Ha az EABCD (339. ábra) platinadróton oly áramot bocsátunk át, mely az egész drótot sötét vörös izzásba hozza, akkor az EA és CD részek élénk vörös izzásba jönnek, ha az ABC részt jeges vízben lehűtjük, mivel a lehűtés által az ellentállás kisebbedett, s igy az áram erősbödött. Ha pedig az ABC részt lámpával élénkebb izzásig hevítjük, úgy az EA és CD részek lehűlnek.

340. ábra.

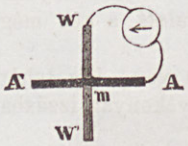


2. A forrasztó helyek megmelegedése. — A záró vezetőnek eddig tanulmányozott megmelegedésén kivül Peltier a mérsékletnek egy másodrendű változását is tapasztalta, mely két különböző vezető forrasztó helyén észlelhető.

Tudjuk, hogy két fémrúd, például antimon és bismuth A és W (340. ábra), C forrasztó helyükön való hevítés által, a nyilakkal ellenkező áramot nyerünk. Peltier azt tapasztalta, hogy, ha ellenkezőt, tehát a nyilak által meghatározott áramot vezetünk a fémeken keresztül, a forrasztó hely C jobban megmelegszik, mint a rudak többi része. És viszont, ha C-t lehűtjük, a nyilak irányában áram keletkezik: ezzel ellenkező áramot vezetvén a fémeken át, a forrasztó hely lehűl.

Peltier e tüneményt ismeretes keresztjével (341. ábra) mutatta meg. Az antimon és bismuth végeit A' és W'-et először egy batteria két sarkával kötötte össze, és ez összeköttetés megszüntetésével az AW ívbe galvanométert kapcsolt. Ha a batteria árama A'*m*W' irányba ment, akkor a hő-áram W*m*A irányú volt, a forrasztó hely megmelegedését jelezvén, míg a W'*m*A' batteria-áram a forrasztó helyet lehűtötte, tehát A*m*W hő-áramot eredményezte.

341. ábra.



Quintus Icilius és Frankenheim továbbá megmutatták, hogy a forrasztó hely megmelegedése vagy lehülése az áram erősségével növekszik.

III. A villámos fény.

1. Ha valamely erős batteria záró vezetőjét egy helyen szétválasztjuk, a származott két vég között egy szikra csap át, mely sok tekintetben hasonlít a villámszikrához.

E szikra igen valószinűleg a villámos izzás egy tüneménye, mely a következő módon keletkezik. Ha valamely áram záró drótját mindinkább megvékonyítjuk, bizonyos határnál izzásba jön, mely izzás annál élénkebb, mennél vékonyabb a drót. A keresztmetszet ily csökkenése áll elő akkor is, ha a vezető egymáshoz szorított végeit elválasztjuk; az elválasztás pillanatában az érintkező drótvégek, izzásba jönnek, mely izzás rövid tartamánál fogva szikra alakjában mutatkozik.

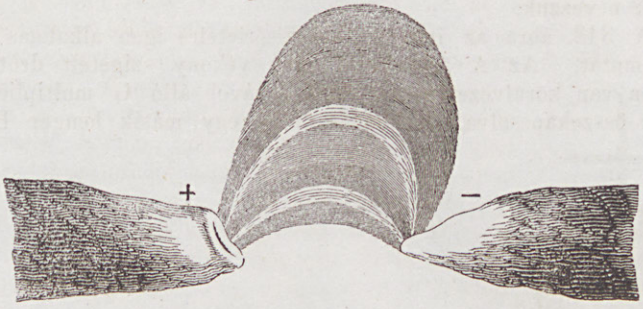
Érintkezés nélkül, a közelítésnél csak rendkivül erős áramok adnak szikrát $^1/_4$ milliméternél kisebb távolságban. Ha e távolságban óvatosan növesztjük, akkor a fénytünemény állandóan megmarad, és vakító fényü ivet képez, mely egyike a legmeglepőbb tüneményeknek.

E fényivet Davy állitotta elő legelőször, azáltal, hogy 2000 elemből álló telep sarkait 3 centiméter hosszú és 4 milliméter átmérőjü szénrudakkal kötötte össze. Miután e szénrudakat érintkezésbe hozta, egymástól lassan eltávolította, miáltal az említett fényiv keletkezett, mely megmaradt még akkor is, ha a szénrudak végei 10 centiméter távolságban voltak egymástól. A fényiv mindig fölfelé erősen domborodott alakot vesz fel, mint a 342. ábra mutatja. Az igenleges sarkot képező széncsúcs krateralaku mélyedéseket nyer, míg a nemleges csúcsos alakját megtartja. Ez onnan származik, hogy a roppant hőségben megömlesztett és elpárolgó szénrészek az igenleges sarktól a nemlegesre szálnak.

Nem szükséges e tünemény előállítására oly erős batteria, mint a minőt Davy használt, elégséges erre 30 egész 40 Bunsen- vagy Grove-elem.

E fényiv mérséklete oly nagy, hogy platina viasz módjára olvad meg benne; oxygen-üres térben a szenet destillálni lehet általa.

342. ábra.



Jamin meghatározta azt a melegmennyiséget, melyet a fényív egy másodpercben a calorimeternek átad, és ezt összehasonlította az egyidejüleg megmért áramerősséggel. Ő azt találta, hogy ugyanazon melegmennyiség fejlődik oly drótból, mely az áram erősségét annyira gyengíti, mint a fényív.

E melegmennyiségek oly kis térre való összeszoritása okozza tehát a nagy mérsékletet, és ezzel a fénytüneményt.

E fény rendkivüli erősségét csakhamar gyakorlatilag alkalmazták, nevezetesen világító tornyoknál, és physikai kisérleteknél, a hol a nap fényét helyettesíti. E célra igen kemény szenet használnak, melyet a világító gáz készítésénél a retortában visszamaradt szénből nyernek.

Habár e kemény szén az égésnél igen lassan fogy, mégis elég gyors, különösen az igenleges szénrúd fogyása, hogy az áram rövid idő után megszakíttassék. Gyakorlati alkalmazásnál tehát gondoskodni kell arról, hogy a szénvégek mindig a kellő távolságban legyenek egymástól.

E cél elérésére többé-kevésbbé bonyolódott gépezeteket alkalmaznak.

HATODIK FEJEZET.

Az inductioról.

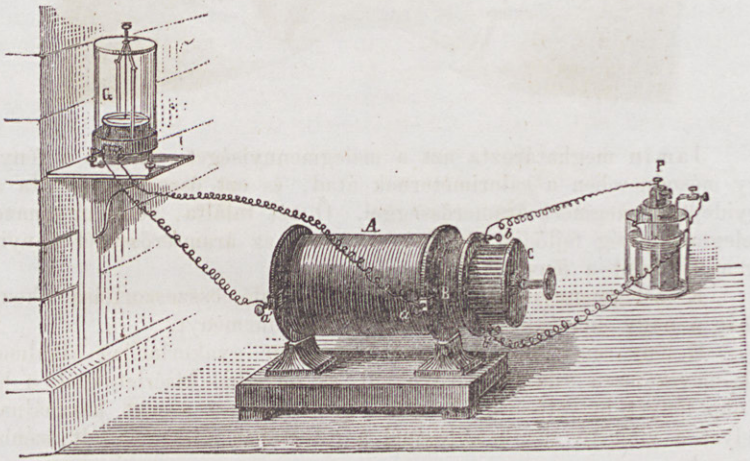
I. Az inductio a drótokban.

1. Valamint a villámossággal megtöltött conductor az őt környező testekben, a mennyiben a villámosságot vezetik, villámos oszlás által villámos mozgást létesít, úgy a villámáram is hat környezetére, ugyanis megindulása és megszünése pillanatában közel álló zárt vezetőben villámáramot létesít.

E villámáramokat fölfedezőjük, Faraday után, inducalt áramoknak nevezzük.

A 343. ábra az inductio alapkisérleteire igen alkalmas készüléket mutat. Az A fahengerre igen vékony szigetelt drót többszörösen van körülvezetve, és végei a távol álló G multiplicatorral vannak összekapcsolva. E henger ürébe egy másik henger B illik,

343. ábra.



melyre vastagabb és rövidebb drót van tekerve, ennek végei a P elemmel, esetleg batteriával van összekapcsolva. B henger ürébe végre lágy-vaspálca-csomag C tolható.

E készülékkel a következő kisérleteket tehetjük :

a) Hagyjuk először a C csomagot, és toljuk a batteria áramával áthatolt B hengert A-ba. Ekkor a galvanométer G oly eltérést mutat, mint ha a batteria áramával ellenkező áram hatná át az A henger drótját. De a tű eltérítése nem maradandó, hanem közvetetlenül a hatás után előbbi nyugalmi helyzete körül leng, míg e helyzetében ismét egyensúlyba jön. Tehát a hatás tökéletesen olyan, mint ha mechanikai lökés idézte volna elő az eltérést. E rövid tartamú áramot kezdetleges- vagy záró-áram-nak nevezzük, és keletkezését azon általános módon magyarázzuk, hogy a direct áram a szomszéd drótban influentiát idéz elő, melynek megindítása áramot kelt, mely addig tart, mig az influalt állapot helyre állt.

b) Ha a tű megállapodása után a B tekercset kihúzzuk, akkor a tű ismét kitér, de az előbbivel ellenkező irányban; tehát az A tekercsben oly áramot jelez, mely a batteria áramával egyirányú. Ezen áramot a nyitás áramának nevezzük, és keletkezését akkép magyarázzuk, hogy a drót villámos állapotából természetes állapotába tér vissza, mely rövid tartamú villámos mozgás kiséretében történik.

c) A két áram elnevezése a következő kisérletből származott. Ha a B tekercs A-ba már be van tolva és akkor zárjuk a P batteriát, ép olyan hatást nyerünk, mint mikor az áramtól már áthatolt B tekercset gyorsan A-ba toljuk. Ha B áramát megszakasztjuk, az eltávolításnak megfelelő nyitás áramát nyerjük.

2. **Inductio delej által.** — d) Minthogy a delejek a solenoidok tulajdonságaival bírnak, várható, hogy a B solenoidot helyettesítő delej ugyanazon hatásokat fogja létesíteni. És csakugyan, ha A-ba delejt tolunk, akkor oly áram keletkezik, mely vasat ellenkezően delejezne; ha a delejt ismét kihúzzuk, akkor a nyitás árama keletkezik, mely vasat az alkalmazott delej értelmében delejezne.

e) Ha a záró áram keletkezése után, tehát midőn B A-ba már be van tolva, a C csomagot B-be toljuk, akkor a B áram által delejezett vas hatása által a záró árammal egyirányú áram keletkezik. A C csomag eltávolításával ellenkező áram mutatkozik.

f) A hatások összegeződnek, ha a B tekercs és a C csomag egyidejüleg működik; így például, ha a 3 rész egymásba van tolva és az áramot zárjuk és nyitjuk.

2. **Az inductio törvénye.** — Az inducalt áramokról adott magyarázat szerint nemcsak az áram zárásánál és nyitásánál, hanem általában annak erősbülése és gyengülésénél is kell inducált áramnak keletkezni, mert az első esetben uj influentia keletkezik, és a másodikban, az influentia egy része megsemmisül; inducalt áram pedig influentia keletkezésénél és megsemmisülésénél keletkezik. Ebből továbbá következik, hogy állandó áramerősségnél inducalt áram keletkezik, ha a főáram (a batteria árama) a zárt vezetőhöz közelíttetik, vagy attól eltávolíttatik.

Faraday fölfedezése után Lenz csakhamar fölismerte a törvényt, mely szerint az áram és a zárt vezető relativ mozgásai által az inducalt áram keletkezik. A törvény, mely az inducalt áram irányát meghatározza a következő:

Ha a zárt vezető A és az áramvezető B relativ helyzeteiket megváltoztatják, akkor A-ban oly áram keletkezik, hogy a két áram, egymásra gyakorolt hatása következtében, az inductiot előidézett mozgással ellenkezőt szülne.

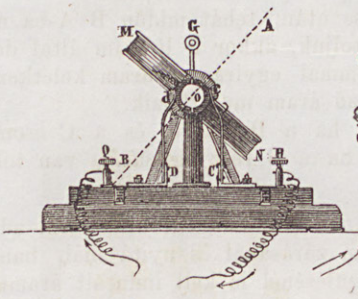
4. **A földdelejesség-okozta inductio.** — Minthogy a földdelejesség a villámáramra irányító hatást gyakorol, azért bármily zárt vezetőben, helyzetének megváltoztatása által, a földdelejesség által áram inducaltatik.

Az így származott áram irányának meghatározására, Lenz törvénye értelmében, azon áramot kell megszerkesztenünk, melyben a földdelejesség a neutral vezető forgásával ellenkező forgást létesítene.

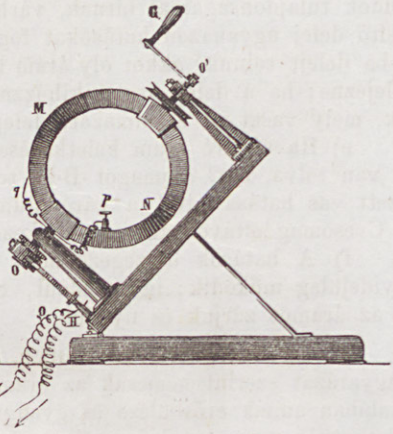
A föld hatása által inducalt áramot a 344. ábrában jelzett készülékkel mutathatjuk meg. Az MN köralakú vezető forgási ten-

gelyét O-t merőlegesen állítjuk a delejes meridianra, és a vezető síkját MN-et merőlegesen a lehajló tű AB irányára; ekkor, ha a vezetőben fönt (M-nél) nyugatról kelet felé tartó áramot képzelünk, a vezető stabil egyensúlyban van.

344. ábra.



345. ábra.



Ugyanily irányú lesz a neutral vezetőben előidézett inducalt áram, ha M-t A-n át N-felé forgatjuk. Ha a forgatást ugyanezen értelemben folytatjuk, akkor az inducalt áram M-ben, mialatt B-n át előbbi helyére visszatér, ellenkező irányban, keletről nyugat felé tart.

A készülék akkép van berendezve, hogy az inducalt áram nem a forgatott körben áramlik, hanem a két részre osztott O gyűrűn át a hozzá símuló *Dd* és *Cc* rugók által, melyek a Q és H csavarokkal vannak összekapcsolva, a külső drótba vezettetik, a hol hatását észlelni lehet. Az O gyűrű egy-egy fele az MN drót kezdetéhez és végéhez van forrasztva. Ha a gyűrűt akkép helyezzük, hogy minden egyensúlyhelyzetben való átmenetelnél egy másik fele símul ugyanazon (*d*) rugóhoz, akkor a külső vezetőben csupa egyirányu áramot nyerünk, mert ekkor mindegyik drótvég épen akkor közlekedik a rugóval, midőn az inducalt áram kezdetét veszi. Ez által az inducalt áram a külső vezetőben jelentékeny hatásokat szülhet.

Ha e készüléket a 345. ábrában jelzett helyzetbe hozzuk, melynél az *oo'* forgási tengely a lehajló tü irányával párhuzamos, akkor a földdelejesség áramot nem inducalhat, mert a képzelt áram a vezetőnek bármely állásánál a földdelejesség által el nem téríttetnék.

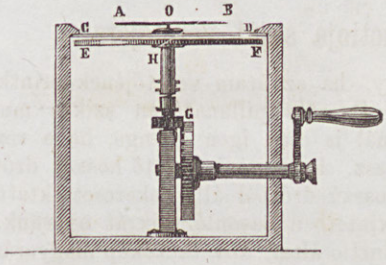
II. Vezető tömegekben létesitett inductio.

Gambey 1824-ben azt tapasztalta, hogy a delejtű, mely a föld hatása alatt leng, sokkal gyorsabban jő nyugvásba, ha nagyobb réztömeg fölött leng, mint mikor a réz nincs alatta.

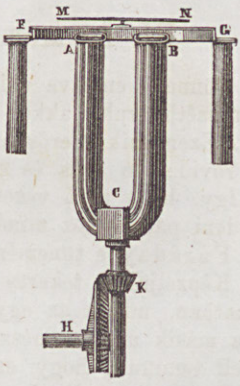
Nem sokára rá Arago megmutatta, hogy valamely EF fémlemez (346. ábra) forgatása által, egy fölötte álló AB delejtű, — mely a forgás által keletkezett levegőáramtól a CD üveglemez által van megóva — a forgás irányában eltéríttetik. Az eltérés a forgás sebességével növekszik, és 90 fokon túl haladhat, ezután a tű egész körülforgásokat tesz.

Babbage és Herschel Arago kisérletét megfordították; ugyanis az MN rézlemezt (347. ábra) helyezték a delejtű helyére, és alatta

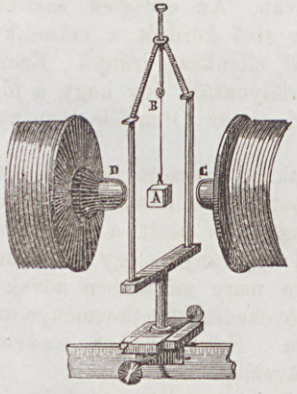
346. ábra.



347. ábra.



348. ábra.



az ABC delejt forgatták. A lemez a delej forgását követi.

Végre Faraday megfordította Gambey kisérletét. Az A rézkockát (348. ábra), mely egy erős elektromagnes sarkai között függött, gyors forgásba hozta. A mint az áramot zárta, a kocka majdnem rögtön megállt; és ujra megindult, a sodort fonal feszítése következtében, ha az áramot megszakította.

E tapasztalatokat következőkép foglalhatjuk össze:

Valahányszor delej fémtömeg közelében van, és a kettő relativ helyzetét megváltoztatjuk, oly erő fejlődik, mely a helyváltozást megakadályozni törekszik, azaz: a mozgatott testet mozgásában akadályozza, vagy a nyugvót a mozgás irányában megindítja, mint ha surlódás volna közöttök.

E tünemények, melyek forgási delejesség (Rotations-Magnetismus) név alatt összefoglaltattak, inductio által magyarázhatók meg. A Lenz-féle törvény értelmében ugyanis a delej és a hozzá közel lévő vezető mozgása által oly áramok képződnek, melyek a mozgást akadályozzák. A hatás és ellenhatás törvénye szerint a nyugvásban maradt rész a mozgás irányában vonzatik.

Különös érdekű Foucault-nak egy ide tartozó kisérlete. Ő ugyanis forgató segítségével, erős elektromagnes sarkai közt, rézlemezt forgatott. A forgás igen könnyen eszközölhető, ha az elektromagnes nem működik, de a mint az áramot zárjuk, a forgás megtartására sokkal nagyobb erőt kell alkalmazni, mint előbb, és e mellett azt tapasztaljuk, hogy a rézlemez megmelegszik. Tehát e tekintetben is hasonlit e tünemény a surlódáshoz. A származott melegnek, melynek egy része kétségtelenül az elektromagnesben is keletkezik, a forgatásra használt munkatúlmánynyal egyenértékünek kell lenni.

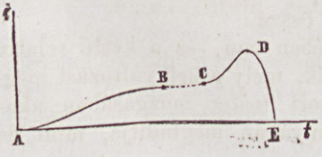
III. Az áram inductioja saját vezetőjére.

Fönnebb említve volt, hogy, ha az áram vezetőjének érintkező végeit széthúzzuk, akkor az elválasztás pillanatában szikra mutatkozik. Ezen szikra erős áramoknál is csak igen gyenge, ha a vezető drót rövid; de erős és élénk lesz, ha a záró vezető hosszú drótból áll. Igy, ha a záró vezetőbe hosszú drótból álló tekercset iktatunk, a leydeni palackéhoz minden tekintetben hasonló szikrát nyerünk.

Faraday e tüneményt inductio által, következőkép magyarázza. Képzeljük a tekercs két egymás mellett lévő kördrótjára azon pillanatban, midőn az egyikben már a bevezetett áram megérkezett, mig a másik még természetes állapotában van. Az eddigiek szerint fel kell tennünk, hogy ezen állapotban az első kördrót a másodikban oly áramot inducál, mely a főárammal ellenkező irányú. Ezen ellenáramok a főáramot terjedésében akadályozzák, úgy hogy a főáram csak bizonyos idő lefolyása után éri el az Ohm-féle törvény által meghatározott erősségét.

Ha ezután az áramot megszakitjuk, akkor a vezető részei ismét egymásután térnek vissza természetes állapotukba, s mialatt az áram erőssége az egyik körvezetőben gyorsan fogy, az alatt a másikban áram inducáltatik, mely most a főárammal egyirányú. Igy tehát az áram megszakításánál erőssége rövid időre nagy mértékben növekszik, mely növekedés következménye az észlelt szikra. Ezen áramot extraáramnak nevezik.

349. ábra.



A villámáram tehát a zárás és nyitásnál saját vezetőjében inducal áramot, minek következtében erőssége három időszakban különböző: az elsőben a zárásnál, erőssége növekszik, a mint azt körülbelül a 349. ábrában az AB

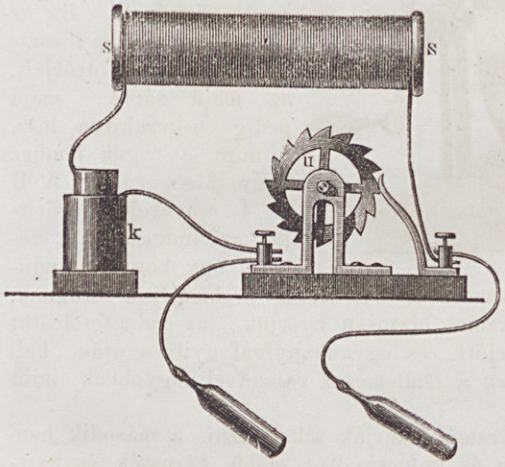
görbe előtünteti; a második időszakban (B-től C-ig) az erősség állandó és a harmadikban, a nyitásnál, rögtöni növekedése által (C-től D-ig) van jellemezve, mint ha az elektromotorikus erő nagy mértékben növekedett volna.

Ha a vezető végek közé a roszul vezető emberi testet iktatjuk, akkor a keletkezett extra-áram két ágra oszlik, az egyik gyenge szikra alakjában a levegőn áttör, és a másik a testen áthatol, a hol a leydeni palack kisütéséhez hasonló hatást gyakorol.

Ha e kisérletekre használt tekercsbe lágyvasat teszünk, akkor az inducalt áramok erősebbek, mert ekkor a delejes és villanyos inductio összegeződik.

Az extra-áramok physiologiai hatását a 350. ábrában jelzett készülékkel mutathatjuk meg. S a tekercs, *k* egy Volta-elem és *u* az áram megszakítására és zárására szolgáló rézkerék; ha e kereket forgatjuk, akkor az áram mindannyiszor megszakad, a hányszor a fogakhoz szorított rúgó egy kivájt részbe esik; a következő fog az áramot ismét zárja. A két csavarba vezetőkre erősített fémfogók vannak alkalmazva; ha e fogókat két kezünkben tartjuk, és az áramot megszakítjuk, akkor a tekercs, az elem és testünk zárt vezetőt képeznek; az áram megszakításával származó extra-áram tehát a testen átmehet. Ezen áramok annál gyorsabban következnek egymásra, minél gyorsabban forgatjuk az *u* fogaskereket, és annál erősebb physiologiai hatásuk.

350. ábra.



IV. Az inducalt áram mennyisége és erőssége.

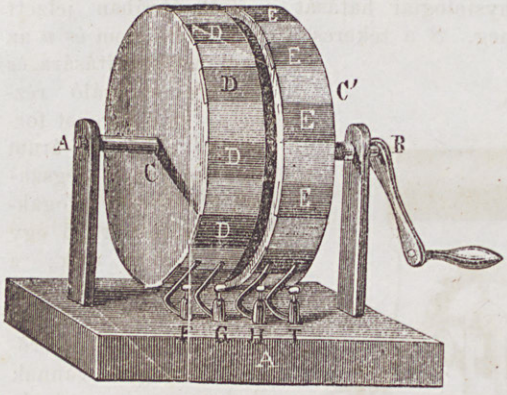
1. **Az inducalt áramok villámos mennyisége.** — Az inductio magyarázatára felvettük, hogy valamely áram szomszéd vezetőjében új villámos egyensúlyt létesít, mely mindaddig megmarad, mig a hatás tart, mely azt létesítette. E magyarázat szerint a vezetőben ellenkező mozgásnak kell létesülni, ha a szomszéd áram megszünik, mialatt a villámosság a vezetőben is rendes állapotába tér vissza; tehát a nyitás árama következménye a zárás áramának; s

minthogy a második áram befolyása alatt tökéletesen megsemmisül az első hatás, következik, hogy a keringő villámos mennyiségek e két esetben egyenlők.

Annak megmutatására, hogy a zárás és nyitás árama egyenlő delejes és chemiai hatást létesít, a Dove-féle disjunctor-t használhatjuk. E készülék segítségével a két áramot külön választva és együttesen is alkalmazhatjuk.

Két keskeny fahenger közös forgási tengelyen nyugszik (351. ábra), az egyik szilárdan van megerősítve, a másik csavar segítségével tetszőleges helyzetben erősíthető meg. A hengerekre egyenlő számú fémlemezkék vannak erősítva, DD.... és EE.... Az egyik hengerhez az F, G, a másikhoz a H, I rugók simulnak. Ha az F és G csavarokba illesztjük a főáram drótjait, az majd zárva, majd pedig megszakítva lesz, a mint a rugók fémhez vagy fához érnek. A H és I csavarokba erősítjük az inductio-drót végeit, úgy hogy az inducalt áram is fölváltva zárodik és nyilik, ha a hengerek forognak. Hogy mindkét inducalt áramot biztosan nyerjük, az inductio-drótot kevéssel a főáram zárása előtt, és ugyanannyival nyitása után, kell zárni. Ezért a C' hengeren a fémlemezek valamivel nagyobbak, mint a főáram hengerén.

351. ábra.



Ha csupán a zárás áramát akarjuk alkalmazni, a második hengert akkép állítjuk, hogy az inductio drót előbb zárassék és nyittassék, mint a főáram. Ha pedig csupán a zárás áramát kívánjuk, a hengereket akkép állítjuk, hogy a H, I rugók később érjenek fémhez, mint F és G, s ekkor később is fogják azt elhagyni.

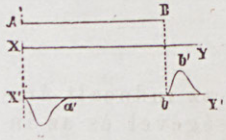
Ha a disjunctort gyorsan forgatjuk, akkor a záró és nyitó áramok külön-külön irányuktól várható egyenlő delejes vagy chemiai hatást szűlnek; de ha mindkettőt egyesítve alkalmazzuk, sem chemiai sem delejes hatást nem nyerünk; ezen esetben tehát egyenlő villámos mennyiségek ellenkező irányban hatják át a mérő készülékeket.

2. **Az inducalt áramok erőssége.** — Az inducalt áram erőssége, mely az időegységben a vezető keresztmetszetén átfolyó villámos mennyiség által van meghatározva, nem csak a mozgásba hozott villámos mennyiségektől, hanem az áram időtartamától is függ. De ez különböző, még pedig a záró-áramnál nagyobb, mint a nyitó-áram-

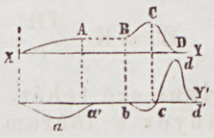
nál, a mit azonnal be fogunk látni, ha az extra-áram hatását a főáramra figyelembe veszszük:

Tegyük fel, hogy a fő-áram XY vezetőjében (352. ábra) mindjárt a zárásnál XA teljes erősségét nyeri, és megtartja azt egészen a nyitásig, a mikor hatását rögtön elveszti. Ezen esetben az áram erőssége, a zárás pillanatától a nyitás pillanatáig, az AB vonal által volna ábrázolva, és az X'aa', bb'Y' összeillő és ellenkező fekvésű görbék meg az inducalt áramokat ábrázolnák.

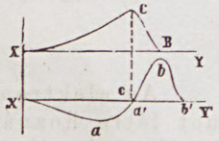
352. ábra.



353. ábra.



354. ábra.



De a mint fönnebb láttuk, az áram erőssége, a zárás pillanatától a nyitás pillanatáig nem ábrázolható egyenes vonal által; a zárás utáni folytonos növekedést az XA vonal mutatja (353. ábra), melynek az X'aa' inducalt áram felel meg. A nyitás pillanatában az extra-áram B-től C-ig erősbíti a főáramot, mely azután C-től D-ig rögtön gyöngül. Ez által X'Y'-ben kettős inductio jön létre, ugyanis a bc ellenáram, és a cdd' a főárammal egyirányú áram. Az utóbbi akkora villámos mennyiséget tartalmaz, mint a másik kettő, X'aa' és bc együttesen, de világos, hogy tartama rövidebb, mint a kettőé.

Ha az áramot gyorsan egymás után megszakítjuk, az AB és $a'b$ állandó részek eltünnek, úgy, hogy az áramok a 354. ábra görbéi által ábrázolhatók. A főáram erőssége X-től C-ig növekszik és C-től B-ig gyorsan fogy; ezen esetben az előbbi ábra ellenáramai összegeződnek Xaa' árammá, mely addig tart, míg a főáram erősbödik; ennél sokkal rövidebb tartamu az $a'bb'$ nyitó áram, minélfogva sokkal erősebb is. Belátható tehát, hogy a nyitás árama erősebb, mint a zárás árama. Erről tényleg meggyőződhetünk az által, hogy a vezetőt, melyben a két áramot külön-külön vezetjük, megszakítjuk: a nyitó áramok még átcsapnak, midőn a záró áramok a levegőréteget áttörni már nem képesek.

3. **Az inductio elektromotorikus ereje.** — A fő-áram egyaránt hat az inductio-drót minden részére, a villámos mennyiség q tehát a drót hoszszával, és így ellentállásával R-rel is arányos; továbbá arányos a főáram erősségével J-vel, azaz

$$q = \mathrm{K} \,.\, \mathrm{JR}$$

K állandó tényező.

Jelöljük i-vel a záró-áram erősségét és t-vel tartamát, akkor

$$q = i \,.\, t \quad \text{tehát}$$
$$\mathrm{KJR} = it$$

Jelöljük továbbá E-vel azon elektromotorikus erőt, mely az inducalt áramot létre hozná, ekkor

$$i = \frac{E}{R} \qquad \text{tehát}$$

$$KJR = \frac{E}{R} . t \qquad \text{és ebből}$$

$$E = K . \frac{JR^2}{t}$$

Épen igy nyerjük a nyitóáramra, hogy

$$E' = K . \frac{JR^2}{t'}$$

Az elektromotorikus erő tehát, mely az inducalt áramot létre hozná, arányos a főáram erősségével és az inductio-drót ellentállásának négyzetével, de visszás arányban van az inducalt áram időtartamával.

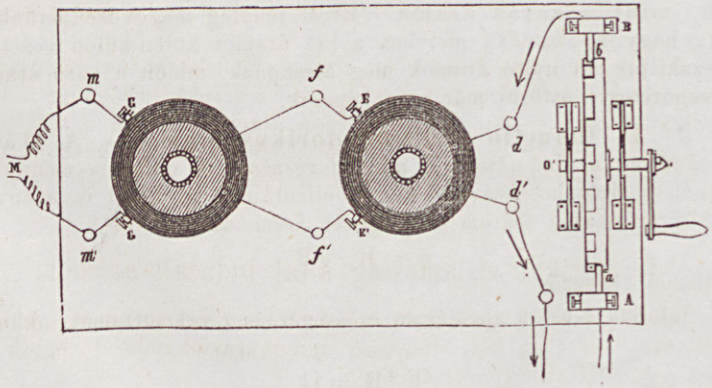
Az a körülmény, hogy az elektromotorikus erő az ellentállással, tehát körülbelül a tekercs körültekeréseinek négyzetével is arányos, mutatja, hogy az a körültekerések szaporitásával jelentékenyen növeszthető.

V. Magasbrendü inductio-áramok.

Az inductio-áram hozzá közel lévő vezetőben szintén inducalhat áramot. Az ily módon előállított áramokat magasbrendü inducalt áramoknak nevezzük.

Ezen áramok előállítására szolgálhat a 355. ábrában jelzett készülék. A-nál valamely batteria áramát vezetjük be, mely innen

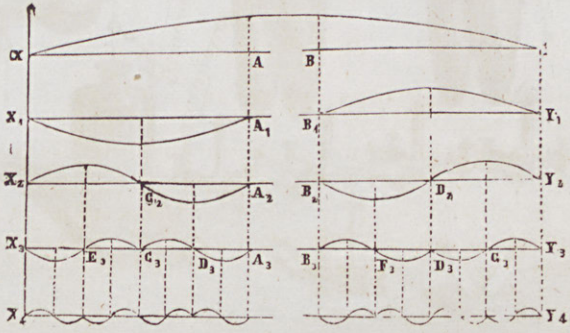
355. ábra.



az ab áram-megszakitón át d-hez áramlik, és miután a belső tekercset átfutotta, d'-en át visszatér. Ezen áram az EE' tekercsben elsőrendü inducalt áramot létesit, mely f-en át a második henger belső tekercsébe lép, és f'-en át visszatér. Ez a GG' tekercsben másodrendü áramot inducal, melyet hasonlóképen harmadrendü áram előállitására lehet használni, s i. t.

Minden áram kettőt inducal, egyet a zárásnál és egyet a nyitásnál, azért a magasabb rendű áramok száma is növekszik. Ha

356. ábra.



az (356. ábra) XY rendezői a főáram erősségét jelölik, akkor az ezáltal inducalt áramokat $X_1 A_1$ és $B_1 Y_1$-el ábrázolhatjuk. E két áram ép oly szabály szerint inducal két-két áramot, mint az előbbi; az erősbülés tartama alatt ellenkező és a gyengülésnél egyirányú áram keletkezik; $X_1 A_1$ áram tehát $X_2 C_2$, $C_2 A_2$-őt és $B_1 Y_1$ áram $B_2 D_2$, $D_2 Y_2$ áramokat inducal. Könnyű az ábrában a harmad- és negyedrendű áramokat követni.

Az ellenkező irányokban keringő villámos mennyiségek egyenlőségéről szóló törvény bár hanyadrendű áramra is érvényes; ebből következik, hogy, ha M-nél (355. ábra) valamennyi áramot kénsavas rezen vezetjük keresztül, vegybomlás nem állhat be, a mit a kisérlet csakugyan igazol.

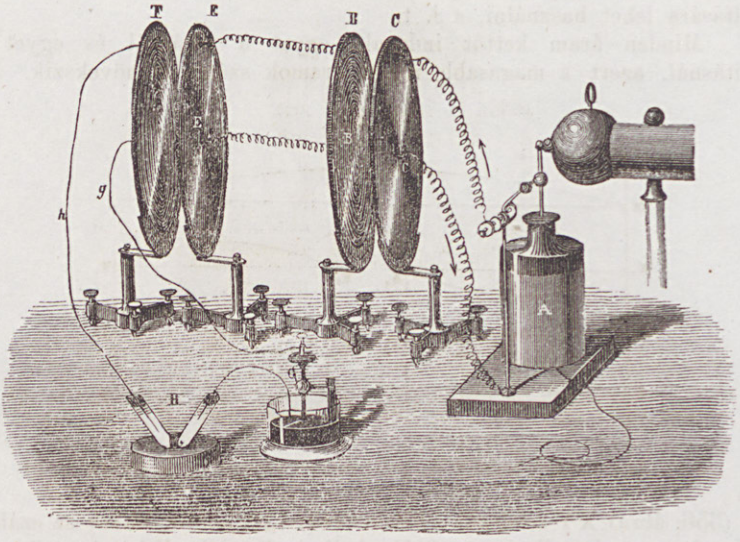
Az áramok erőssége azonban, a mint fönnebb láttuk, nem egyenlő; a nyitó-áramok erőssége nagyobb, mint a záróké. Ennélfogva, kellő légréteg beiktatása által, az első rendű áramoknál csak a főárammal egyirányú áramokat nyerünk, a másodrendű áramok közül csak a megfordított irányúak csapnak át, a harmadrendüeknél ismét az egyenlő irányuak erősebbek, s i. t.

VI. Statikai villámosság által inducalt áramok.

Minthogy a villámos kisütés jelentékeny áramot képez, a közelében lévő vezetőben két, ellenkező irányú áramot inducal: egyik vele egyirányú, a másik ellenkező irányú.

Verdet villámgéppel megtöltötte az A leydeni palackot (357. ábra), melynek gömbjéhez közel szigetelő rúdra erősített másik gömb volt elhelyezve, úgy, hogy a készülék kisült, valahányszor a villá-

357. ábra.



mosság a megfelelő sűrűséget elérte; ekkor a keletkező villámáram CC-ben, schellakkal elszigetelt és üvegkorongra erősített rézdrótban keringett. Ezen BB tekercs hozzá hasonló tekercsben áramokat inducalt, mely áramok az EE tekercsbe vezettetvén, F-ben másodrendű áramok keletkeztek.

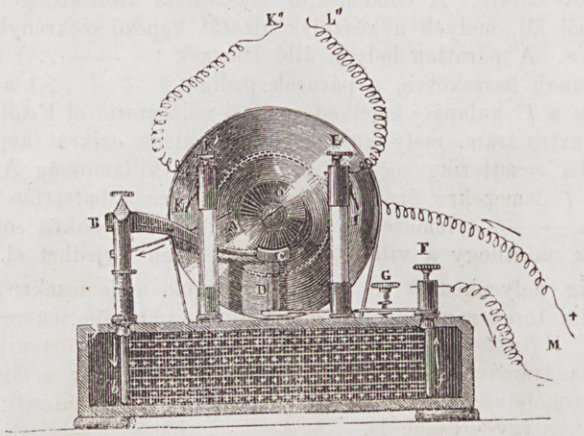
Hogy az áramok hatását észlelhessük, az utolsó tekercs drótvégeit voltaméterbe vezetjük. Igy azonban hatást nem észlelünk, mivel az előbbi áramok törvényei itt is érvényesek : az ellenkező irányú egyenlő mennyiségű áramok egymást lerontják. De ha a *g* drótot a G csavarba vezetjük, melynek vége nem ér az alatta lévő higany felszinéig, akkor az erősebb áramok szikra alakjában áttörnek, mig a kevésbbé erősek (de ugyanoly villámos mennyiségű áramok) visszamaradnak. Ezáltal a víz szétbontása sikerül.

VII. Inductio-készülékek.

1. **Ruhmkorff gépe.** — Masson és Breguet inducalt áramok által jelentékeny villámos feszültséget hoztak létre. A Ruhmkorff által tökéletesbített gépük a legfontosabb physikai készülékek egyike.

E készülék két egymásba illesztett tekercsből áll; a belső tekercs ürében 0-nál (358. ábra) lágyvas-pálcacsomag van illesztve. A fő-

358. ábra



áramot vezető tekercs e csomag körül vagy 300-szor tekert 2 egész 2·5 mm. átmérőjü rézdrótból áll, melynek egyik vége + M-nél, és másika A-nál hagyja el a gépet. E tekercs kemény kaucsukhenger által, melyet az ábrában pontozott kör jelel, az inducalt tekercstől el van szigetelve; ez utóbbi $^1/_4$ milliméter átmérőjü elszigetelt drótból áll és legalább 30,000 körültekeréssel bír. E tekercs végei az elszigetelt K', L' csavarokból K'' L''-höz vannak vezetve.

Az inducaló áram a de la Rive által szerkesztett megszakitó, rheotom segítségével fölváltva megszakittatik és záratik. A főáram ugyanis + M-nél a tekercsbe lép és a tekercs másik végéből A-ból a B csavarba megy, innen az igen mozgékony B C emelőbe lép, mely a C lágyvas-kalapácscsal végződik; e kalapács D fémoszlopon nyugszik, honnan az áram egy rúgon át F-be vezettetik, és a — M dróton a telep nemleges sarkába tér vissza. De alig kezdi meg az áram e körfutását, a lágyvas O-ban delejjé változik és a kalapácsot fölemeli, miáltal az áram útja C és D között megszakittatik. Az áram megszakitása által a vas elvesztvén delejességét, a C kalapács leesik és az áram ismét zárva van. E játékot gyorsitani vagy lassitani lehet, azáltal, hogy az alsó rugót a G csavarral vagy fölemeljük vagy leeresztjük.

Az inducalt tekercsben direct áramok keletkeznek valahányszor a kalapács fölemelkedik, és megfordított áramok, ha leesik. Mindkettő egyenlő villámos mennyiséget tartalmaz, s minthogy a tekercs ellentállása igen nagy, jelentékeny elektromotorikus erővel bírnak. Az áramokat a fönt tárgyalt módon lehet különválasztani, ugyanis a K'' és L'' drótvégeket kellő távolságban kell tartani; ez által a direct áramok a légrétegen mintegy keresztül szitáltatnak; a megfordított áramok visszamaradnak. K'' és L'' között erős szikrák csapnak át, mint ha villámgéppel dolgoznánk.

Fizeau e készülék hatását, condensator alkalmazása által, tetemesen növesztette. A condensator viasztafeta által elszigetelt staniollemezekből áll, melyek a készülék alzatát képező szekrényben vannak elhelyezve. A páratlan helyen álló lemezek (— — — ...) az F vezetővel vannak összekötve, a párosak pedig (+ + + ...) a B vezetővel, mely a C kalapács emelkedése által választatik el F-től. Ez által a nyitó extra-áram, mely különben D-nél élénk szikrát képez, a condensatorba vezettetik; ugyanis az igenleges villámosság A és B-n át a + + + lemezekre áramlik, és a nemleges a batterián (M-nél) és F-n át a — — — lemezekre. Ez által D-nél a szikra sokkal gyengébb lesz, minthogy a villámosság nagy téren terjedhet el.

Alig helyezkedtek el a villámosságok a lemezeken, már kiegyezkedni törekszenek, a mi *b* B A-n, az inducaló tekercsen, az M batterián, F *f*-n és a — — — lemezeken át meg is történik; ez által a batteria áramával ellenkező áram keletkezik, mely a lágyvas delejességét tökéletesen megsemmisíti, miáltal a direct inducalt áram rövidebb lesz, s így erősebb is.

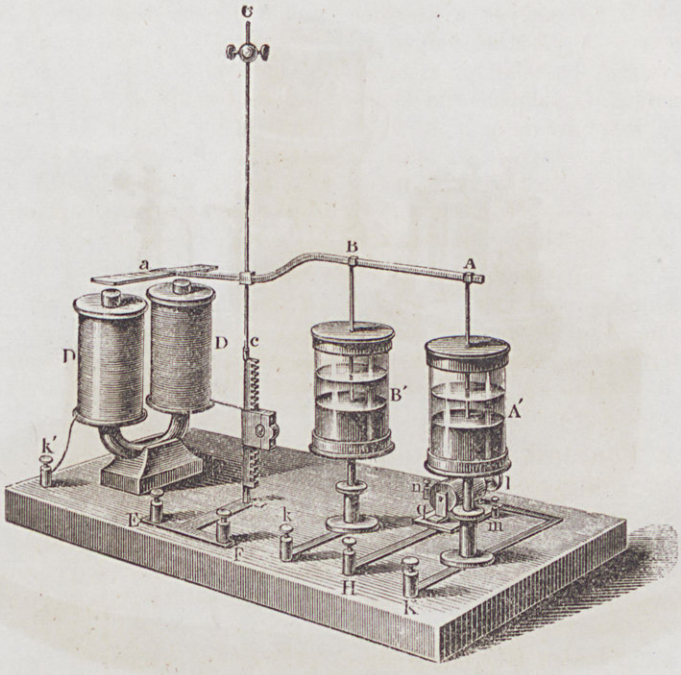
2. **Foucault interruptora.** — Poggendorff azt találta, hogy a főáram gyorsabban szakíttatik meg, ha a megszakító végek a villámosságot kevéssé vezető folyadékokban vannak. Ez által a nyitó vagyis a direct áram szintén gyorsabban foly le, tehát erősebb lesz. Azért Foucault a következő interruptort szerkesztette, melyet nagyobb Ruhmkorff-gépeknél, a fönt leírt áram-megszakító készülék helyett alkalmaznak.

Függélyesen álló fogasrúdra a *c* C ruganyos pálca van forrasztva (359. ábra), mely az *a* B A emelőt hordja; az emelő fölött föl-le tolható kis súly van a rugóra alkalmazva. Ha a rugót meglökjük, rezgésnek indul, melynek gyorsasága a súly helyzetétől függ. Az emelő *a*-nál egy darab lágyvasat hord, mely alatt a D D elektromagnes áll; másik oldalára két fémpálca B B' és A A' van erősítve, melyek fémalzatos üvegedényekbe nyúlnak. Az edények bizonyos magasságig higanyt és e fölött kevés alkoholt tartalmaznak. Az alzattól a higany színéig platina-pálcák emelkednek épen a B B' és A A' pálcákkal szemközt, ezek az emelő lefelé tartó mozgását akadályozzák.

A B' edény alzata a K csavarral van összekapcsolva, A' alzata pedig egyrészt az *l m n q* commutatoron át — mely a főáram teljes megszakítására, zárására vagy megfordítására szolgál — a H csavarhoz vezet, másrészt a K csavarral áll összeköttetésben. Az E és F csavarok a fogasrúd tokjához vezetnek, mely az elektromagnes drótjának egyik végével van összekapcsolva, a drót másik vége a K' csavarhoz van erősítve.

A készülék külön áram által, rendesen egy elemmel hozatik működésbe, mely a K és K' csavarokba vezettetik. Ha B B' a higanyba merül, akkor az áram K-ból B'B-n át *c*-be megy, innen az elektromagnes drótján K'-hez és vissza az elemhez; alig hogy ez megtörtént az elektromagnes *a*-t lehúzza, és az áram megszakad; ez-

359. ábra



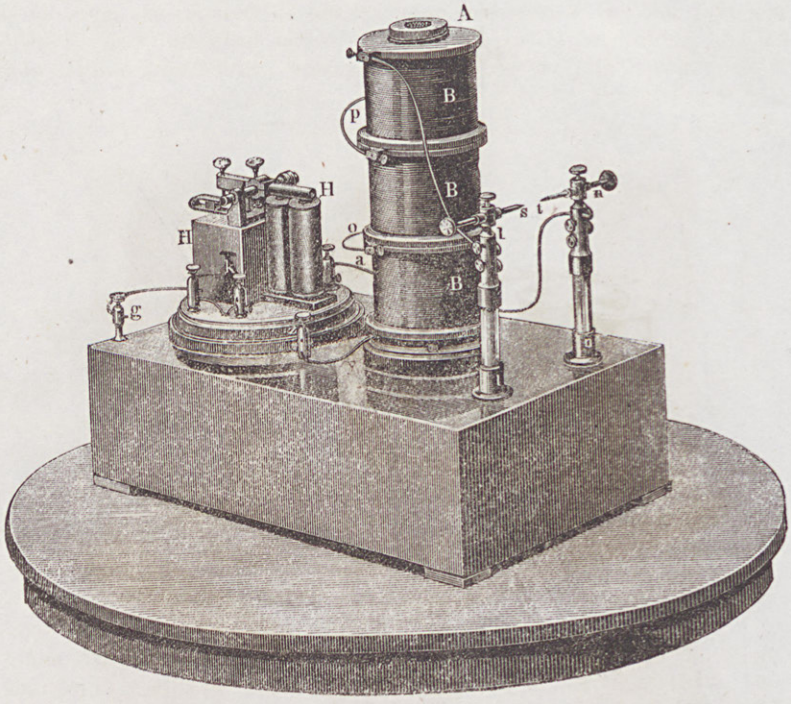
után a cC rugó visszaleng, miáltal B′ ismét a higanyba merül, és az áram megint zárva van, s í. t.

A főáram vezetővégei a commutator m és n csavarjaiba vezettetnek, az inducaló tekercs végei pedig H és F-be. Ha AA′ a higanyba merül, akkor az áram A′A, c, F-n át az inducaló tekercsbe, és innen H-ba, q-n át a commutatorba és vissza a batteriába áramlik. Az E és K csavarok az inductio-készülék condensatorával vannak összekapcsolva.

3. **Stöhrer készüléke.** — A Ruhmkorff-féle készüléknél, bármily óvatosan is vannak elszigetelve a drótok, csak gyenge inducaló áramot lehet használni, mivel különben a szigetelő réteg könnyen áttöretik; azért Poggendorff ajánlatára Stöhrer inducalt tekercsnek több, egymással összekapcsolt tekercset alkalmazott.

E készüléknél a tekercsek függélyesen állanak, mint a 360. ábrában látható. Az A főtekercs, melynek üre lágyvas-pálcákkal van kitöltve, a B inducalt tekercscsel van körülvéve, mely itt három részből áll. s és t üvegoszlopokon álló platinacsúcsok, melyek az inducalt tekercs sarkait képezik, ezeken csapnak át a szikrák. H az áram-megszakító; a szekrény, melyen a készülék áll, a condensatort tartalmazza.

360 ábra.



VIII. Az inductio-szikra.

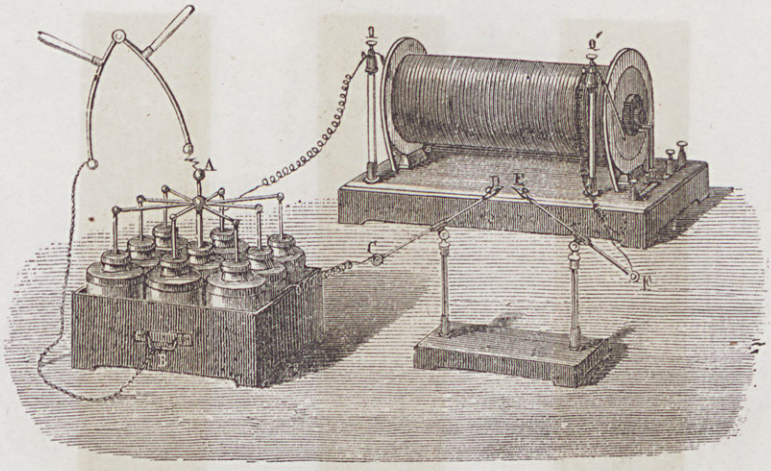
1. Ha az inductiotekercs zárva van, akkor a kettős inducalt áramok egyszerűen ide-oda áramlanak, és gyorsan változó áramok hatását szülik. De ha a vezető meg van szakítva, egészen más tünemények mutatkoznak, mint a közönséges áramoknál, ugyanis a végeken villámos feszültség áll elő, és szikrák csapnak át, mint a villámgépnél.

Ha valamely inductio-drót egyik végéhez rövid ideig elektroskopot tartunk, akkor ez villámossággal megtelik; de azt nem lehet meghatározni, hogy bizonyos esetben milyen villámossággal fog megtelni, igenlegessel-e vagy nemlegessel. Ennek magyarázata igen egyszerű, mert mindegyik végen, a záró- és nyitó-áram következtében, gyorsan egymásután keletkezik mindkét neme a villámosságnak. De ha, bármily kis távolságra is, szikrák által töltjük meg az elektroskopot, akkor ez előre meghatározható villámossággal telik meg; ugyanis a nyitó-áramnak megfelelő villámossággal.

A bizonyos távolságra átcsapó egyszerű szikrák egészen hasonlók a közönséges villámszikrákhoz. Az inducalt árammal leydeni palac-

kokat vagy egész batteriákat igen gyorsan meg lehet tölteni. E célra az egyik felületet közvetetlen összeköttetésbe hozzuk az egyik sarkkal, és a másik sark és felület közt kis rést hagyunk, hogy a megtöltés szikrák által történjék. Ily célszerű berendezést a 361. ábra

361. ábra.



mutat. A Ruhmkorff készülék Q sarka az AB batteria belső felületével közvetetlen összeköttetésben áll, míg a Q' sark és a külső felület a DE köz által van elválasztva. Az A-ból a kisütőbe csapó szikra rövidebb tartamú, mint a közönséges megtöltésnél.

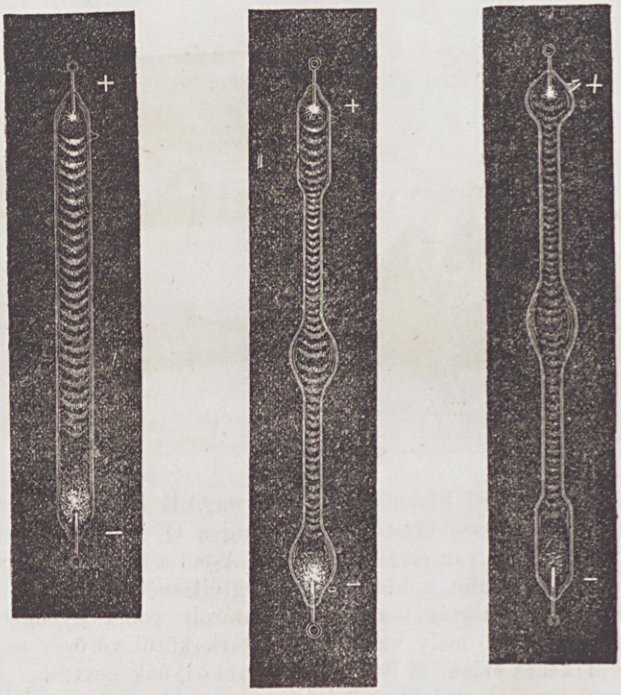
Az inductio-szikránál az élesen határolt vonal gyengébb fénynyel van környezve, mely az igenleges sark körül vöröses és a nemleges körül kékes szinü. E fényburkot aureol-nak nevezik. A szikra szine az elektrodok tulajdonságától, az aureola szine pedig inkább a gáztól függ, melyen a szikra áttör.

E fényburok folytonos kisütés következménye, mely a szikra által megritkított levegőben megy végbe. Ha a szikra felé erős légáramot fuvunk, akkor a fényburok eltéríttetik, míg a szikra változatlan marad; ez mutatja, hogy a kettő különnemü kisütés következménye; a szikra ugyanis sokkal gyorsabb kisütés eredménye, mint a fényburok.

Az aureol magyarázatából következik, hogy annál erősebb, minél kisebb ellentállást nyujt az elektrodok közt lévő gáz. Csakugyan, ha a villámos tojásban teszszük a kisérletet, akkor világosan lehet látni, hogy a levegő ritkulásával a fényburok növekszik; és ha a ritkítás már magasabb fokot elért, akkor a tulajdonképeni szikra egészen megszűnik, és csak az aureola mutatkozik. Ekkor a sarkokat nagy távolságra huzhatjuk szét, és a közöttök lévő tért meglepő fényáram tölti be.

E kisérletekre Geissler által készített, különböző alaku, kiszivattyúzott üvegcsöveket szokás használni, melyeknek sarkaiba platina-drótok vannak forrasztva (362. ábra).

362. ábra.



Ha ilyen csövön, melyből a levegő nehány milliméter higanynyomásig ki van szivattyúzva, az inducalt áramot keresztül vezetjük, akkor két, alakra és színre különböző fény keletkezik. Az egyik, szép lavendulakék, a nemleges elektrodot környezi; és a másik, a csőben foglalt gáz minősége szerint különböző szinü, az igenleges elektrodból indul ki, és a cső többi részét majdnem egészen betölti. A két fényt rendesen egy széles, sötét szalag választja el.

Az igenleges fény nem folytonos fényáram, hanem haránt sötét csíkok által van rovatolva, mint a 362. ábra (*a*, *b*, *c*) mutatja. A haránt csíkok nem egészen tiszták levegőben, de ha a cső faszesz-, terpentin-, alkohol- vagy phosphorgőzöket tartalmaz, akkor a csíkok igen tisztán mutatkoznak. Gyakran a negativ fény is, az elektrodtól kissé távolabb, szintén csíkokra oszlik.

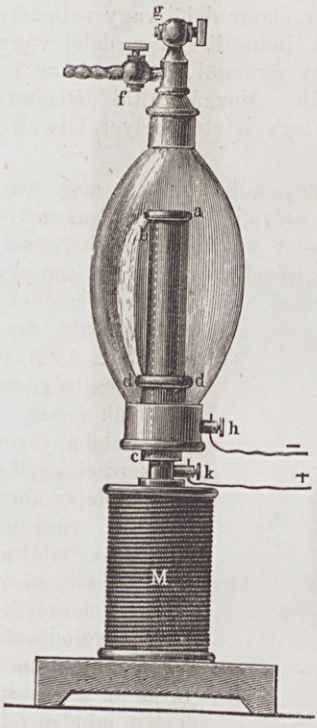
E csíkok nemcsak a folytonos fényáramban mutatkoznak, hanem az egyszerű kisütésnél is, a milyent az által nyerünk, ha az áramot

kezünkkel gyorsan megszakítjuk. Ebből látható, hogy e csíkok nem a főáram megszakításainak felelnek meg; elfogadható magyarázatuk még nincs.

A villámos fény szinképi elemzése mutatja, hogy színe lényegesen függ az elektrodok, és a gáz nemétől, úgy, hogy e fény csak a gázok és az elektrodokból keletkező gőz izzásától származik: tulajdonképeni villámos fény nem létezik.

2. A delej hatása a villámos fényre. — Ha a fényburok csakugyan folytonos kisütéstől származik, tehát az áramvezető kiegészítő részét képezi, akkor a delejnek oly hatásokat kell rágyakorolni, mint az áramokra általában. Már Davy megmutatta, hogy a delej a villámos fényivet eltéríti, de hogy az inductio-szikra fényburokját is eltéríti, először de la Rive mutatta meg. Kisérletét a 363. ábrában látható készülékkel tette.

363. ábra.



Az M elektromagnes vasrúdja *a*-ig meg van hosszabbítva, fölső része a jól szigetelő *bc* üvegcsőbe van foglalva; e rész egy villámos tojásba nyúlik, melynek alsó vége a *dd* rézkarikával vezető összeköttetésben áll. A tojás fölső foglalatja két csappal van ellátva, *f*-n át ki lehet szivattyúzni a levegőt, és *g* által valamely folyadék néhány csepjét lehet az ürbe bocsátani.

Ha a kiszivattyúzás után a delejbe eresztett *k* csavarral az inductor igenleges sarkát, és az alsó rézfoglalatba eresztett *h* csavart a nemleges sarkkal kötjük össze, akkor a delejvasra eresztett *a* lemeztől *dd*-hez, többékevésbbé szabályos fénynyaláb keletkezik; de a mint az elektromagnest működtetjük, a fénynyaláb világos szalaggá terjed szét, és az elszigetelt delej körül leng.

A forgás iránya az ismeretes szabályt követi; megfordul, ha akár az elektromagnes sarkait, akár az inductor áramát megfordítjuk.

HETEDIK FEJEZET.

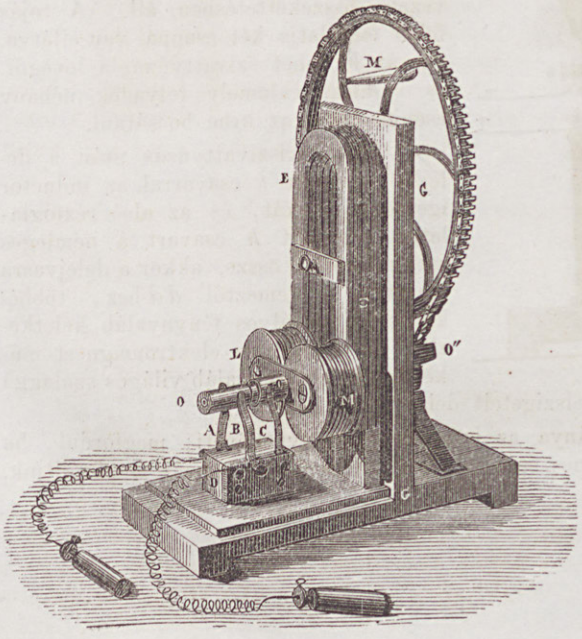
Mechanikai mozgás által létesíthető villámosság és villámosság által létesíthető mechanikai mozgásról.

I. Mechanikai mozgás által delejjel létesíthető villámosságról.

1. **Clarke gépe.** — Fönnebb láttuk, hogy delej vagy valamely villámáram szomszédos vezetőben áramot inducal, ha a delej vagy az áram hatása a vezetőre erősbödik vagy gyöngül, tehát akkor is, ha kölcsönös helyzeteiket megváltoztatják. Mozgás által létesített inductióra alapított gépet először Pixii szerkesztett, melyet Clarke a következő célszerűbbel helyettesített.

Erős delej E E (364. ábra) függélyes helyzetben meg van erősítve; két tekercs, L, M, melyek drótjai lágyvas-hengerekre vannak tekerve, a delejsarkokkal szemközt az M rúd segítségével, 00 tengely körül gyorsan forgatható. A drótok végei az 00 tengely végeihez vezetnek; az inducalt áramokat az A, B, C rugók segítségével gyüjtjük össze.

364. ábra.

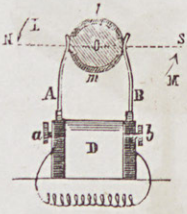


Valahányszor a tekercsek egyike egy delejsarkhoz közel ér, vasa delejes lesz, miáltal a drótban záróáram keletkezik; az eltávolodásnál ellenkező áram futja át a drótot. Tehát minden félkörülforgásnál más irányú áram keletkezik.

Az ellenkező irányú áramok az 00 tengely szerkezete által egy irányba tereltetnek. A tengely

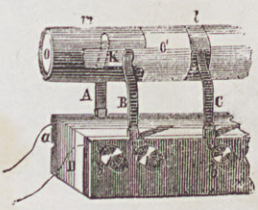
szerkezete a 365. ábrából látható. Az *l* és *m* félgyűrűk, melyekhez az M, L tekercs végei vezetnek, kemény fa vagy csont által egymástól el vannak szigetelve; a forgás által egymásután az A és B rugókkal érintkeznek. Ez által minden félkörülforgás után az inducalt áram megszakíttatik, és az áram kezdete, mely eddig például *l*-en volt, a megszakítás után *m*-en lesz, úgy hogy ezáltal minden félkörülforgás után az áram megfordíttatik; tehát a keletkezett ellenkezű irányú áramok egyirányuakká változtatnak.

365. ábra



Az így nyert áramok ugyanoly chemiai-, hő- és fényhatásokat szülnek, mint a közönséges áramok. De ezektől nagy feszültségük, és erős physiologiai hatásuk által tünnek ki. A physiologiai hatást még növeszthetjük, ha az inductio-áramot megszakítjuk, midőn hatása legerősebb; ekkor erős nyitó extra-áramot nyerünk. E célra a tengely a 366. ábrában látható módon van berendezve. A drót egyik vége az *l* gyűrűhez van vezetve, és másika *m*-hez, mely K-nál meg van szakítva. A B és C rugók egymással közlekednek, kivévén, ha B K-hoz ér, ez azon hely, melynél az áram legerősebb. A származott extra-áram A és C-n át vezettetik a drótba, melynek végeire a 364. ábrában látható fogók vannak alkalmazva; ha ezeket a gép működése alatt kezeinkben tartjuk, igen élénk rázkódtatást tapasztalunk.

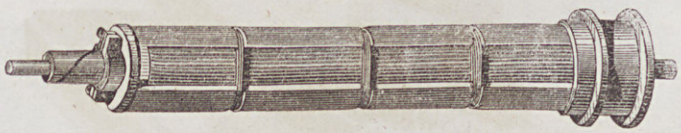
366. ábra



Nollet 1850-ben ezen elvre alapított hatalmas gépet szerkesztett, melynek inducalt tekercse 4 lóerejű gőzgéppel hajtatik. A tekercset 40 patkóalakú delej veszi körül, melyeknek tartóképessége 70 kilogramm.

2. **Siemens tekercse és Wilde gépe.** — Az inductio-tekercs alakjának változtatása által Siemens e gépeket tökéletesbítette; tekercsét a 367. ábra mutatja. Lágyvas-henger oldalt ki van

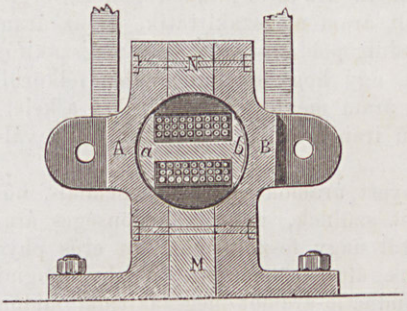
367. ábra.



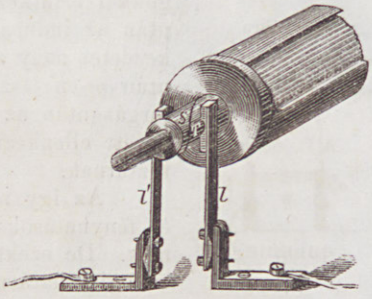
vájva, és végein átlukasztva, úgy, hogy a drót a henger hoszszában tekerhető fel. Ha a dróton áram megy keresztül, akkor a henger hoszszában, az ábrában fönt és lent, képződnek delejsarkok. E tekercs lágyvas-burkolattal vétetik körül. Az egésznek keresztmetszetét a 368. ábra mutatja; a középső rész M, N rézzel van kitöltve, hogy

azon ponton, melynél az influentia megfordul, az influáló vas hiányozzék.

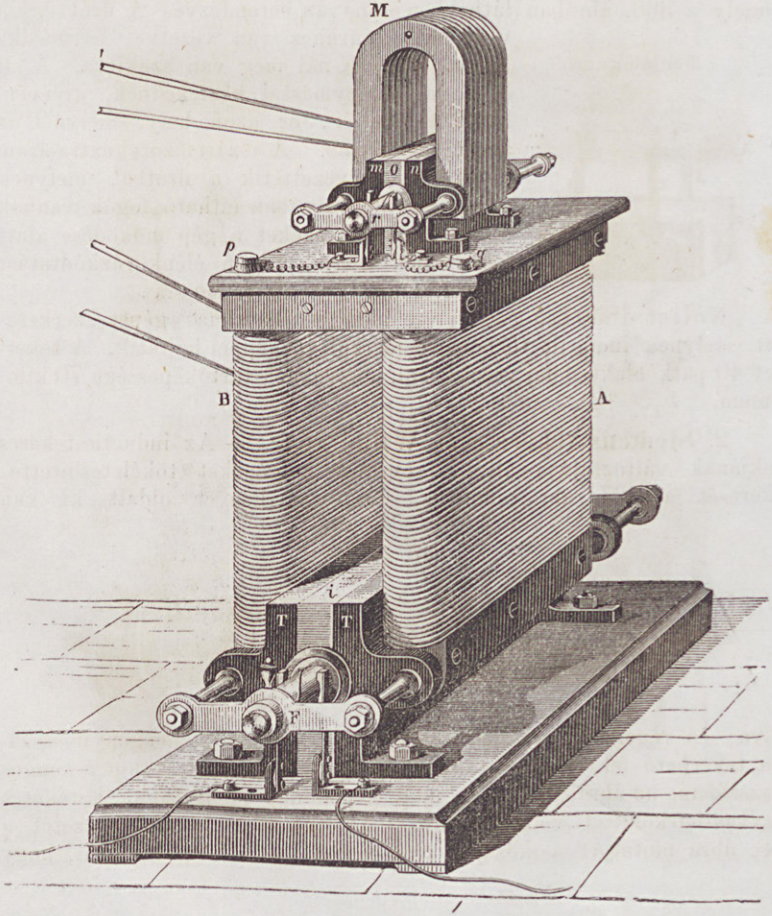
368. ábra.



369. ábra.



370. ábra.



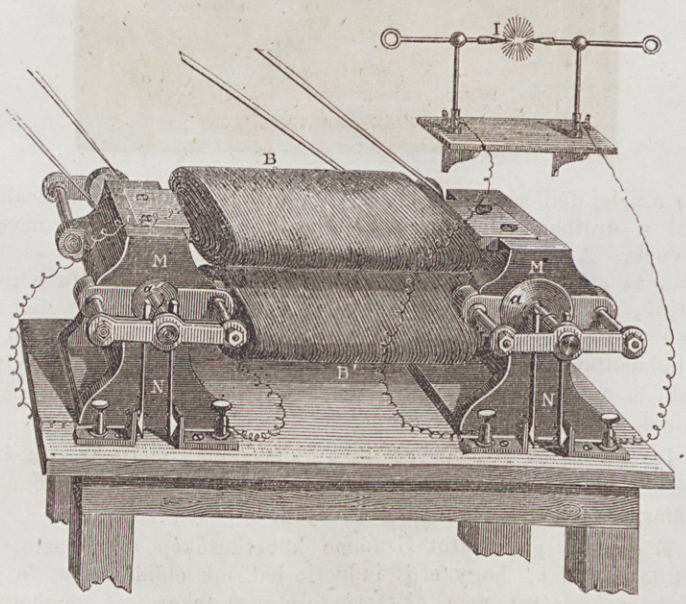
A 269. ábra a tekercs forgási tengelyét mutatja, mely akkép van berendezve, hogy a változó irányú áramok a záró drótban egyirányuakká váljanak.

A 370. ábra a Wilde által szerkesztett gépet mutatja, melynél e tekercsek igen elmés módon vannak felhasználva. A gép két részből áll, a fölső rész egy egyszerü Siemens-féle gép, melynél az l, l' rúgókból (369. ábra) kiinduló p, q drótok segítségével az áram tetszőlegesen felhasználható. Wilde ezen áramot két nagy vaslemez A és B delejezésére használta fel, melyek a gép második, alsó részének delejéül szolgál. Ezt még folytatni is lehet, az F-ből kiinduló áramokat egy másik elektromagnes drótjába lehet vezetni, s i. t. Wilde ilyen géppel, mely három Siemens-féle tekercscsel készült, és 15 lóerejü gőzgéppel hajtatott, 2 láb hosszú és 6 mm. vastag platinarudat megolvasztott; nem kevésbbé feltünő azon intensiv villámos fény, melyet e géppel elő lehet állítani.

Még nevezetesebb Siemens azon gépe, melynél az állandó delej egészen hiányzik; ennél a kisebb tekercs delejező hatása saját inductio-áramai által növeltetik.

A BB' elektromagnes (371. ábra) vaslemezei, melyek az MN öntött vasállványokra vannak erősítve, mindig tartalmaznak még

371. ábra.



annyi delejességet, hogy a forgó kisebb Siemens-féle inductio-tekercsben (a' a baloldalon) gyenge áramok inducáltatnak. Ezen áramok egyirányuakká változtatnak, és a rúgókkal összekapcsolt vezetők

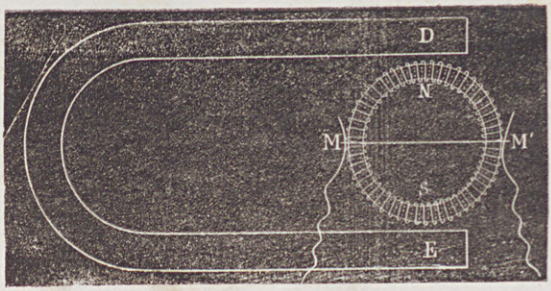
segítségével a BB' elektromagnes drótjába vezettetnek. Ez által az elektromagnes deleje erősbödik, a mi viszont a'-ben erősebb áramokat szül. Látni való, hogy az erősbülés, elég gyors forgásnál, addig fokozódik, míg a delej telítve van. Ezen erős delej másik két sarka a nagyobb tekercsre működik, ép úgy, mint a Wilde-féle gépen.

3. **Gramme gépe.** — A leírt gépek legnagyobb hibája az, hogy az áramokat, mikor egy irányba terelik, meg kell szakítani. Ez által egy részt nem nyerünk tökéletesen folytonos áramokat, más részt a megszakítás pillanatában keletkező szikra a készüléket elégeti.

Gramme e hiányokat teljesen elhárította, miáltal lehetségessé vált sokkal hatásosabb gépeket előállítani. Gramme gépe a következő elven alapszik:

Legyen a 372. ábrában D E egy acélmagnes, és M M' vezető dróttal körülfont lágyvas-gyűrű. E vasgyűrű azon részében, mely

372. ábra.

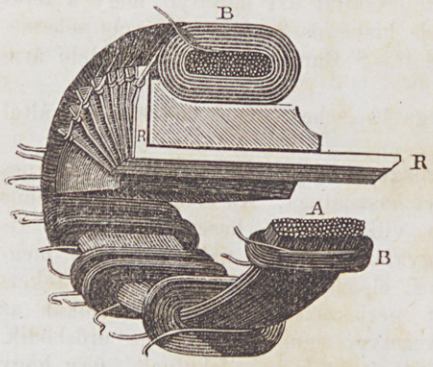


D-nél, a delej déli sarkához közel van, északi delejesség inducáltatik, miáltal a drótban villámáram keletkezik; ennek irányát nevezzük positivnek. A gyűrű alsó részén déli delejességet nyer, és így a drótban az előbbivel ellenkező irányú áram keletkezik. Ha e gyűrűt forgatjuk, mindenkor az M M' fölötti részben positiv, az e vonal alatti részben pedig negativ áram keletkezik. M M'-nél, a hol áram épen nem inducáltatik, van a közömbös öv; itt az ellenkező áramok találkoznak, és egymást megsemmisítik, vagy helyesebben mondva, meleggé alakulnak át.

De ha M és M'-nél vezetőt alkalmazunk, mely az oda érkező drótrészekkel vezető érintkezésbe jön, akkor a két ellenkező áramot szétválasztva tetszőlegesen elvezethetjük.

E genialis gondolatot Gramme következőkép alkalmazta. Rég ismert tapasztalat, hogy erős inductio-hatások előidézésére, a rendkivül hosszú drótot nem célszerű folytonos tekercscsé gombolyítani, hanem több tekercset alkalmaznak, melyek egymással össze vannak kapcsolva. Igy tett Gramme is gyűrűje készítésénél. A gép e főalkatrészét a 373. ábra mutatja. A gyűrű magját A-t többnyire jól

373. ábra.



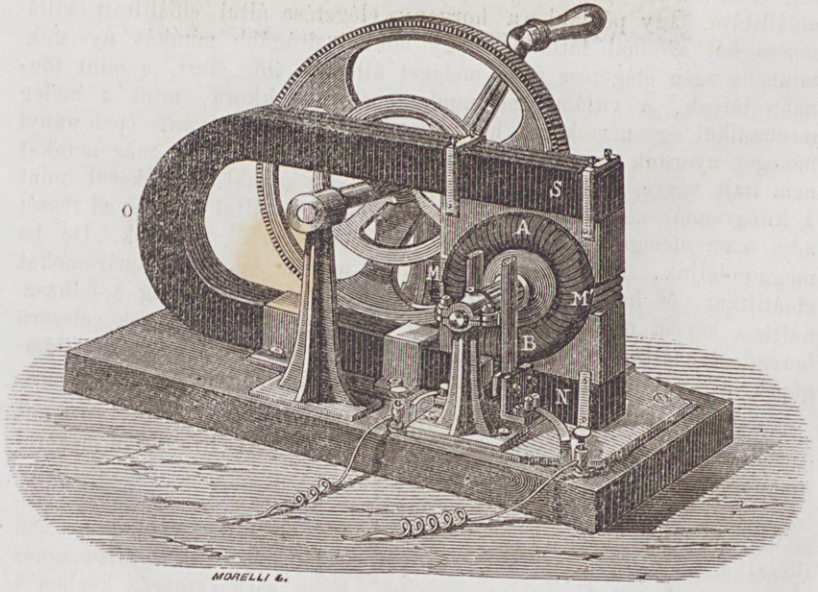
kiizzított vasdrótból készítik, hogy könnyen felvegye és el is veszítse delejességét.

A gyűrű tengelyét számos sugáralakulag helyezett rézlemez (R) képezi; e lemezek ebonit által egymástól el vannak szigetelve. Minden lemez egy, a gyűrű kis részét födő tekercs végével, és a következő tekercs szintén egyik végével vezető összeköttetésben áll. E lemezek derékszög alatt meghajtva, a szigetelő ebonittal a gyűrű tengelyét képezik. Világos, hogy a villámosságot gyüjtő fémseprőket csak e lemezekhez kell szorítanunk, hogy ugyanazon hatást nyerjük, mint ha a drótot érintetnök velök.

Ily módon előállított áram folytonos, mert a gyűrű forgása egészen egyenletes, és az áramot sehol sem kell megszakítani, minthogy a seprők az egyik tekercs rézlemezét nem hagyják el, mig a másikkal nem találkoztak.

A 374. ábra egy kézzel forgatandó gépet mutat. SON a leme-

374. ábra.



zes acélmagnes, MM' a gyűrű. B-nél van az egyik, és vele szemközt a másik gyüjtő vagy seprő. A tapasztalat azt mutatja, hogy a létesített áram elektromotorikus ereje bizonyos határig a forgás sebességével arányos. Ily kézi géppel 6—8 Bunsenelemnek megfelelő áramot lehet előállítani.

Az áram erőssége a forgatás sebességének növesztése által fokozható.

Nagyobb gépek gyűrűit gőzgép hajtja, és az állandó magnes helyett ezeknél elektromagneseket használnak. Az elektromagnetismus fölgerjesztésére nem kell külön villámáramot használni. Az a kis delejesség ugyanis, mely az egyszeri delejezés után a vasban megmarad, a remanens delejesség, elegendő arra, hogy a gyűrű tekercseiben gyönge villámáramokat gerjeszszen; e villámáramokat az elektromagnes drótján keresztülvezetve, ennek delejessége erősbödik. Ennek folytán a gyűrűben inducalt áramok is erősbülnek, úgy hogy rövid idő után a gép eléri sebességének megfelelő állandó hatását.

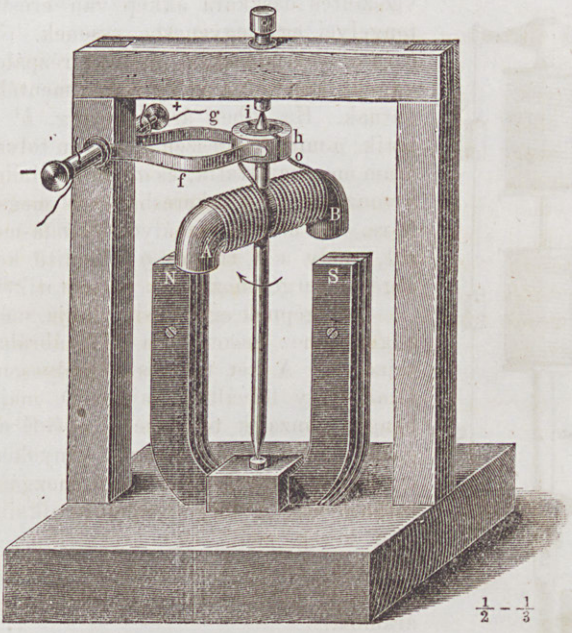
II. A villámosság által delejjel létesíthető mechanikai mozgásról.

1. Valamint mechanikai mozgással villámáramokat létesíthetünk, úgy villámáramokkal mechanikai mozgást állíthatunk elő. A villámosság által hajtott gépek azonban a gyakorlatban eddig még nem használtatnak, mivel a mechanikai munkává átalakitandó villámosság előállítása többe kerül, mint a vele egyenértékü melegmennyiség előállítása. Igy például, a horgany elégetése által előállított villámosságnál azonnal látható, hogy sokkal drágább munkát nyerünk, mint ha szén elégetése által meleget állítunk elő. Mert, a mint fönnebb láttuk, a villámáram munkaképessége akkora, mint a meleg mechanikai egyenértéke; a horgany elégetése által ugyanis épen annyi meleget nyerünk, mint a mennyit az áram fejleszt, ha más munkát nem hajt végre. 1 kilogramm horgany pedig sokkal többe kerül, mint 1 kilogramm szén, és kénsavban való elégetése által csak $^1/_9$-ed részét adja azon melegnek, melyet 1 kilogramm szénből nyerünk. De ha meggondoljuk, hogy mily különböző módon lehet villámáramokat előállítani, és hogy a tényleg hasznosított munkaképesség a felhasználthoz képest nagyobb lehet, mint a gőzgépeknél, a gépek célszerű berendezése által — azon lehetőség ki nem zárható, hogy a villámgépek a gyakorlatban még nagy fontosságú alkalmazást nyerhetnek.

2. **Ritchie forgó elektromagnese.** — Az elektromagnetikus gépek alapeszméje legkönnyebben áttekinthető Ritchie forgó elektromagnesén, mely a 375. ábrában van lerajzolva.

Az NS patkóalakú delej függélyes állásban deszkára van erősítve. A delej közepére hegyben végződő acélrúd foroghatóan van illesztve, melynek másik vége faállványon jár. Az AB elektromagnes akkép van ezen acéltengelyre erősítve, hogy sarkai forgás közben a

375 ábra.



delejsarkok fölött járjanak. Az elektromagnes fölött rézlemezzel burkolt fahenger van a tengelyre erősítve; a rézlemez két, szemközt fekvő rés által elválasztott félgyűrűből, *i* és *h*-ból áll.

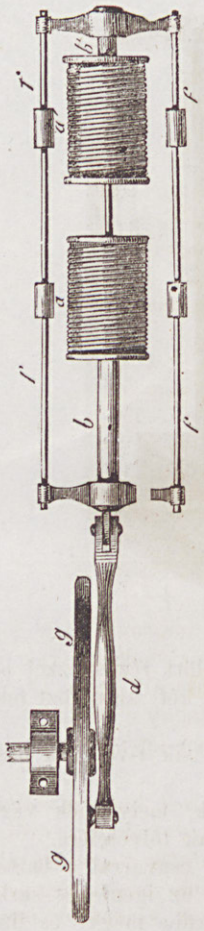
Az elektromagnes *o* drótvége *h*-val, a másik *i*-vel van összekapcsolva.

A rézgyűrűn az *f* és *g* fémrugók súrlódnak, melyeknek végein csavarok vannak alkalmazva, a batteria drótjainak fölvételére.

Tegyük fel, hogy az ábrában előre álló csavarral a batteria nemleges sarkát kötjük össze, a hátsóval pedig az igenleges sarkot, úgy az igenleges áram a *g* rugón át a *h* félgyűrűbe megy, és innen *o*-n át a tekercsbe; az *f* rugó ezalatt *i*-vel lévén kapcsolatban, az áram ezeken át tér vissza a batteriába. Ez által a vas A vége déli sarkká lesz, tehát N által vonzatik, mialatt *s* szintén vonzza B-t. Az elektromagnes tehát a nyíl által jelölt irányban forgásnak indul.

Azon pillanatban, melyben A N fölött és B S fölött van, a rugók a *h* és *i* lemezeket elválasztó közegekkel érintkeznek: az *f* rugó *h*-ra és *g* *i*-re kerül; ez által az áram megfordul és ezzel az elektromagnes sarkai is. N már most taszítja A-t és S B-t, minek következtében a forgás folytatódik. A mint A S fölé és B N-fölé ér, a sarkok ismét megváltoznak, s í. t.

Jacobi 1839-ben ilynemű géppel egy ladikot hajtott a Neván. A költség aránylag igen nagynak mutatkozott.



376. ábra.

3. **Page gépe.** — Két tekercs a és a' vízszintes deszkára akkép van erősítve, hogy tengelyei egy egyenesbe essenek. (376. ábra.) b és b' vasrudacskák, melyek rézpálcával össze vannak kapcsolva az ff rudak mentében mozoghatnak. Ha a'ben áram kering, b' balra vonzatik; a mint b' egészen a'-be van tolva, a'-ben az áram megszakíttatik, és a-ban megindul; ez által b vonzatik az a tekercsbe, és a' megszünt hatni b'-re. Ily módon szabályos ide-oda-mozgás létesül, mely a d rúd és gg lenditő kerék segitségével forgó mozgásba változtatik át.

E gépnek egy másik alakja, mely szintén a gőzgéphez hasonlit, a 377. ábrában van lerajzolva. A két tekercs függélyesen áll. Az által, hogy fölváltva majd a D, majd a C vashenger vonzatik tekercsébe, a GE emelő mozgásnak indul, mely mozgás könyökös rudak és excentrikus körök által forgó mozgássá változtatható át. A forgó tengelyre alkalmazott lenditő kerék mellé egy excentrikus kerék van erősítve, az ez által létesített vízszintes mozgás majd az A, majd a B tekercset iktatja az áramba.

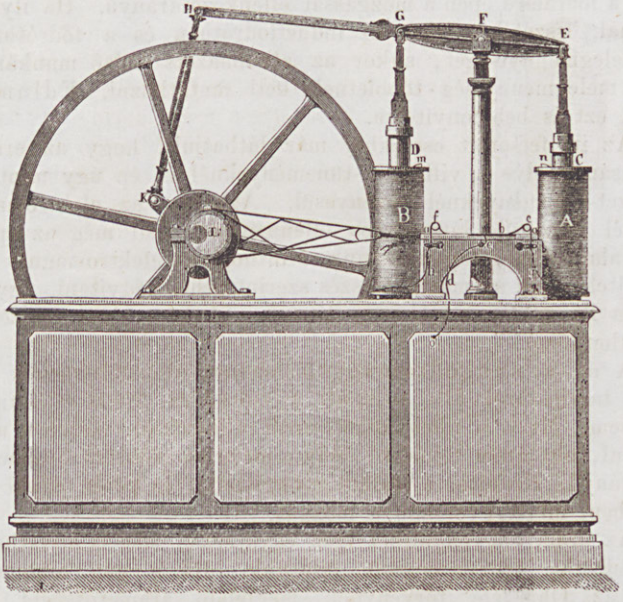
A Gramme-féle villámgép e megfordított műtétre is alkalmazható, még pedig sokkal előnyösebben, mint az eddigi gépek. Ha két ilyen gépet vezető drótokkal összekötünk, és az egyikben forgatás által villámáramokat előállítunk, akkor a másik gépbe vezetett ezen áramok majdnem ép oly gyors forgást létesítenek, mint a minővel előállitottuk. Természetes, hogy más módon előállított villámáram ugyanily hatást szül. E műtétnél a gép ugyanazon előnyei érvényesülnek, mint a villámáram előállításánál.

III. Az elektromagnetikus gépek elméletéhez.

Fönnebb kisérletileg bebizonyítottuk, hogy, ha a villámáram egyéb munkát nem hajt végre, az összes munka meleggé változik át; ha az áram munkát hajt végre, akkor az e munkának megfelelő melegmennyiséggel kevesebbet nyerünk. Igy például, ha az áram vegyületet szétbont, épen annyi melegmennyiség tünik el, mint a mennyi a szétválasztott elemek egyesülésénél keletkezik.

Azonban az áram nem csak saját útjában, hanem azon kivül is végezhet munkát; ez esetek közül a legnevezetesebb az áram in-

377. ábra



ductio hatása. Ha zárt vezető közelében áramot indítunk vagy megszakítunk, akkor a vezetőben áram inducáltatik, melynek munkaképességét azon melegmennyiség adja meg, mely az inducalt áram által az inductio drótban létesül. A kérdés már most az, hogy e munka minek rovására létesül, vajjon ez is hiányzik-e a főáram létesítette melegmennyiségből vagy nem?

E kérdést Edlund nagy gonddal végrehajtott kisérlet-sorozattal fejtette meg. A főáram drótját körülvette egy inductio dróttal, az áramot hegyes fogakkal ellátott kerék egyenletes forgatása által szakította meg, és a főáramból származó melegmennyiséget megmérte, ha az inductiodrót zárva, és ha nyitva volt. A származó melegmennyiséget az áramba iktatott platinadrót megmelegedéséből itélte meg, melynek mérsékletét a hozzá kapcsolt termoelem pontosan megadta.

Az esetben, ha az inductio-drót zárva volt, tehát ha ez is megmelegedett, a fődrót kevésbbé melegedett meg, mint mikor az inductiodrót nem volt zárva. Erre megmérte a zárt inductiodrót megmelegedését és azt találta, hogy az itt kifejlődött melegmennyiség épen akkora, mint a főáramban előbb talált melegmennyiségek különbsége. Be van tehát bizonyítva, hogy az inductiodrótban a főáram rovására hajtatik végre a munka.

Ezen esettől megkülönböztetendő az, ha a zárt vezetőnek az áram közelében való mozgatása által létesítünk inducalt áramokat. Itt külső munkát hajtunk végre, az inducalt áramnak a főáramra gya-

korolt hatása ellenére, mert, a mint fönnebb láttuk, az inducalt áram hatása a főáramra épen a mozgással ellenkező irányú. Ha ilynemű inductionál összehasonlítjuk az inductiodrótban és a fődrótban fejlődött melegmennyiséget, akkor az alkalmazott külső munkának megfelelő melegmennyiség-többletnek kell mutatkozni. Edlund kísérleteivel ezt is bebizonyította.

Az itt felsorolt esetekből már láthatjuk, hogy az erély megmaradásának elve a villámos tüneményeknél is ép úgy mint a többi természet-tüneményeknél érvényesül. Azonban az elektromagnetikus gépeknél fölmerülő látszólagos ellenmondást kell még az épen mondottak alapján megmagyaráznunk. Minthogy az elektromagnes vonzását a körültekerések számával tetszés szerint lehet nagyítani, úgy látszik, mint ha ily módon ugyanazon áram munkaképességét tetszés szerint növeszthetnők.

A mi a nyugodtan egymás mellett álló delejsarkok vonzásáról és taszításáról áll, nem áll a mozgásra, tehát a munkaképességre sem. Mert, a mint láttuk, azon pillanatban, melyben a mozgás megindul, oly áram fejlődik, mely a mozgást előidéző árammal ellenkező irányú. Ez által a főáram gyöngíttetik, és pedig annál nagyobb mértékben, minél gyorsabb a mozgás.

Az áram e gyengülését igen egyszerüen meg is mutathatjuk, ha a záródrótba tangensbussolt iktatunk. Ha a gép nyugodtan áll, akkor az Ohm-féle törvénynek megfelelő áramerősséget nyerjük: ugyanis, ha a gépet hajtó batteria n elemből áll, és minden elem elektromotorikus ereje e, az összes ellentállás ϱ, akkor az áram erőssége

$$i = \frac{n e}{\varrho} \quad \ldots \ldots \quad 1)$$

De ha a gépet mozgásnak indítjuk, akkor a tű annálinkább eltér ezen állástól, mennél gyorsabb a mozgás. Az áram e gyengülése arányos azon v sebességgel, melylyel az elektromagnes mozog; az elektromagnes erősségével, m-el, és a körültekerések számával, β-val; továbbá fordított arányban van az ellentállással, ϱ-val.

Az i erősségü áram által β körültekerések által elég vastag vasban létesített delejesség

$$m = \beta i = \beta \cdot \frac{n e}{\varrho} \quad \ldots \quad 2)$$

Az erő, melylyel ilyen két delejsark egymást vonzza vagy taszítja, a kettő szorzatával arányos, tehát

$$R = m^2 = \beta^2 \frac{n^2 e^2}{\varrho^2} \quad \ldots \quad 3)$$

a miből látjuk, hogy a vonzás R a körültekerések számának négyzetével arányos.

De a mozgó gép áramának erőssége csak i', és ennek megfelelőleg a delej erőssége m', tehát

$$m' = \beta i' \quad \ldots \ldots \quad 4)$$

A mozgás által létesült áramgyengülés, az előbb mondottak alapján, ha γ-val jelöljük az arányosság tényezőjét:

$$i - i' = \gamma \cdot \frac{\beta \cdot m' \cdot v}{\varrho}$$

ebből

$$v = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{(i - i')\varrho}{\beta m'}$$

vagy, ha i és m' helyett 1) és 4) alatti értéküket teszszük:

$$v = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\left(\frac{ne}{\varrho} - i'\right) \cdot \varrho}{\beta^2 i'}$$

Az erő pedig, melylyel az elektromagnesek egymást vonzzák vagy taszítják

$$R' = m'^2 = \beta^2 i'^2$$

A gép mechanikai hatása $R'v$ szorzattal arányos, és ez

$$= \frac{1}{\gamma} \cdot i' \varrho \left(\frac{ne}{\varrho} - i'\right)$$

mely képletből β kiesett, tehát a gép mechanikai hatása független a körültekerések számától.

E képlet bármily alkotásu elektromotorikus gépre érvényes; az egyes gépek szerkezete szerint változik a γ tényező, melyet minden egyes gépre kisérletileg kell meghatározni, és melynek értékei határozzák meg a gép célszerűségét.

IV. Villámos telegraphia.

1. Előbb láttuk, hogy a villámosságnak mechanikai munkára való átalakítása a gyakorlatban még nem igen érvényesíthető. Hanem oly célokra, melyeknél nagy távolságokra kell hatni, kitünő szolgálatot tesz. A villámáram munkaképességét nagy sebességgel biró kis tömeg mozgási erélyével hasonlíthatjuk össze.

A villámosság e sajátságát igen előnyösen használták fel a telegraphirozásra. Sebességével ugyan a fény is vetekedik, de a villámosság főelőnye, a mellett, hogy a legnagyobb távolságban különböző munka végrehajtására alkalmazható, az, hogy bármily görbe uton vezethető, mig a fény csak egyenesben halad. Azért a régebben és még most is szükség esetében használt fény-telegraphia csak szűk korlátok között alkalmazható.

Mindjárt a galvanismus és a volta-oszlop felfedezése után igyekeztek a galvánfolyamot távoljelzésre felhasználni, majd a víz szétbontását, majd az áram physiologiai hatását alkalmazták jelzésre.

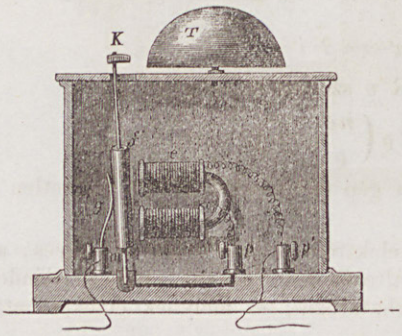
Azonban e kisérletek praktikus irányt csak az elektromagnetismus felfedezése óta nyertek. Gauss és Weber Göttingában 1833-ban anélkül, hogy a telegraphia gyakorlati jelentőségét tartották volna

szem előtt, saját kényelmükre a physikai cabinettet a csillagászati intézettel villámos telegraph-val kötötték össze; a drótokat a háztetőkön vezették el. Készülékük egy-egy multiplicatorból állott, melynek tűjét inducalt áramok által jobbra és balra térítették el. Az eltérítések combinatiójából alkották a jeleket.

Azóta igen számos legkülönbözőbb alakú gépezetek láttak napvilágot, melyek közel eddig a Morse-féle van leginkább elterjedve. De mielőtt ezt leírnok, az igen egyszerű hangjelzőt mutatjuk be.

2. **A harangjelző.** — Egyszerű jelzésre igen alkalmas a 378. ábrában lerajzolt készülék. Az áram m-nél a g rugóba lép és az f vasdarabon át a p csavarba kerül, a honnan az e elektromagnes tekercsébe lép és p'-nél a készüléket elhagyja. Ez alatt az elektromagnes az f vasdarabot magához vonzza, miáltal a K kalapács megüti a T harangot. De ha f elhagyja g-t, az áram megszakad, miáltal a kalapács alsó végének ruganyos megerősítése következtében vissza esik. Most az áram ismét zárva lévén, e játék addig folytatódik, mig a távol levő állomáson az áram zárva marad.

378. ábra.



3. **Morse iró készüléke.** — Az amerikai Morse 1837-ben közölte az azóta általánosan elterjedt gépezetét, melynek főalkatrészei a következők.

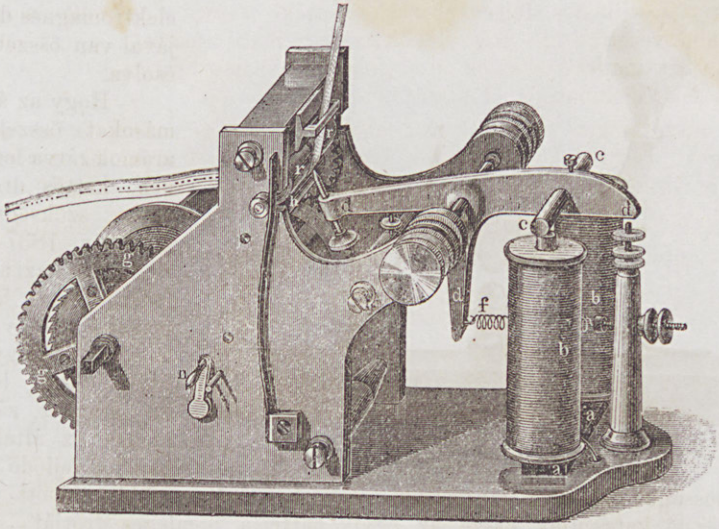
A 379. ábra Morse irókészülékét mutatja. Az a vaslemezre két függélyesen álló vaspálca van erősítve, melyek körülvéve a b tekercsek által, U alaku delejt képeznek. A sarkok fölött lebeg a c vasdarab, mely a d rézemelőbe van erősítve. A mint a vaspálcák delejesek lesznek, az emelő jobb felét lehúzzák; ha delejességüket elvesztik, akkor az f rugó az emelőt előbbi helyzetébe visszahúzza.

Az emelő a jobb oldalon már az alatta álló oszlopra ér, még mielőtt c az elektromagnes sarkaival érintkezik; mert az elektromagnes delejességét tökéletesen el nem veszti, és igy az érintkezés által a gép menete nehézkes, és bizonytalanná is válhatik.

Az emelő balvégén acélcsúcsot hord, mely egy óramű által egyenletesen hajtott papirszeletre mindaddig nyom, mig a b elektromagnes delejes, vagyis mig árama zárva marad.

Egy óramű a h hengert forgatja, mely az r hengerhez súrlódván, ezt is forgásba hozza; a két henger között papirszelet csúszik el, mely egy magasabban álló csiga körül van vezetve.

379. ábra.



Az *r* henger közepén mélyedés van, melynek egy része az ábrában látható. E mélyedésbe szoríttatik az acélcsúcs, ha *c* lehuzatik; a csúcs tehát mélyedést váj a papirosba; ha az áram rövid ideig, egy pillanatra marad zárva, akkor a papiroson bemélyedt pont, ha pedig hosszabb ideig marad zárva, vonal támad, mert a papir az alatt tovább csúszik. Pontok és vonalokból következőkép van alkatva az *abc*:

a . —	*g* — — .	*n* — .	*t* —
b — . . .	*h*	*o* . — . . .	*u* . . —
c — . — .	*i* . .	*p*	*v* . . . —
d — . .	*k* — . —	*q* — — . —	*w* . — —
e .	*l* . — .	*r* . — .	*x* . . — . . .
f . . — .	*m* — —	*s* . . .	*y* . — — . . .

z . — — . .

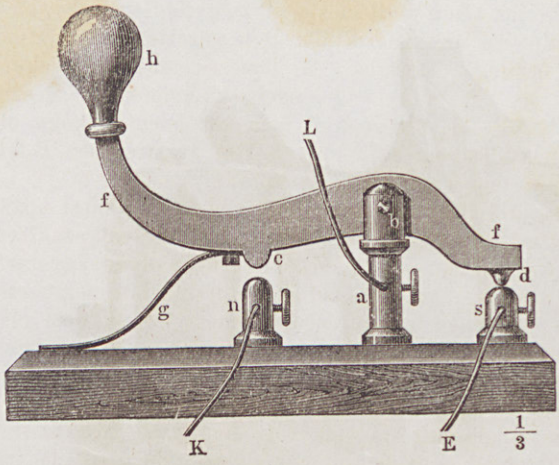
Egy szó betűi szünet vagyis hézag által vannak egymástól elválasztva, az egyes szók pedig nagyobb hézagok által.

Az áram zárására és nyitására a kulcs-nak nevezett készülék szolgál. Egy deszkán áll az *a* rézoszlop (380. ábra), mely *b*-nél az *f* rézemelő tengelyét tartja. Ezen emelő a *g* rugó által a jobb oldalon lefelé szoríttatik, úgy hogy a *d* réznyúlvány *s*-sel érintkezik. Ha az emelőt a *h* fogóval leszorítjuk, akkor a *c* nyúlvány az *n* rézoszloppal érintkezik, míg elől az érintkezés megszakad.

Az *a* oszlopba a második állomás drótja L van vezetve.

n-ből a K drót a batteria egyik sarkához vezet; az *s*-ből jövő E drót két ágra szakad, az egyik ág a batteria második sarkához

380 ábra.



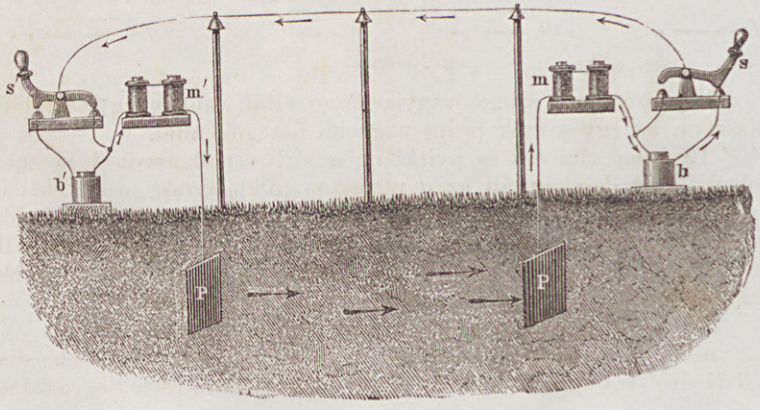
vezet, a másik az elektromagnes drótjával van összekapcsolva.

Hogy az állomásokat összekötő áramok zárva legyenek, kettős drótra volna szükségünk. Azonban 1837-ben Steinheil azt a fölfedezést tette, hogy nemcsak a villámosságok kiegyenlítése által lehet az áramot zárni, hanem az által is, hogy a fejlődő villámosságot kellőleg elvezetjük. Igy ha nedves földbe ásott rézlemezzel kapcsoljuk össze az egyik batteria igenleges drótját, és a másik állomáson a nemleges drótot, akkor az áram zárva van. Tehát e két lemez által a második drót megtakarítható.

Két állomás a 381. ábrában látható módon van egymással összekapcsolva. *b* és *b'* a batteriák, *s* és *s'* a kulcsok, *m* és *m'* az irókészülékek elektromagnesei.

Ha mindkét állomás kulcsai nyugvó helyzetben vannak, mint az ábrában a bal állomás kulcsa, akkor áram nem keringhet, mert a vezetés *n*-nél (380. ábra) meg van szakítva. De ha az egyik állomás kulcsát lenyomjuk, mint az ábrában a jobb állomásét, akkor az áram zárva van: a *b* batteria igenleges sarkától az *s* kulcson át

381. ábra.



a vezetődrótba kerül, mely az áramot az *s'* kulcsba vezeti, innen az *m'* elektromagneske jön, és a földlemezbe (P'); a földlemezek akkép zárják az áramot, mint ha az áram P'-ből P-be vezettetnék, és P-ből *m*-n át a batteria nemleges sarkába. A lemezek működését akkép kell képzelnünk, hogy P' annyi igenleges villámosságot veszít, mint P nemlegest. A P fölött lévő nyíl nem azt jelenti, hogy ott villámosság fölfelé megy, hanem azt, hogy a P*m* áramrészben P felé van az igenleges és *m* felé a nemleges sark.

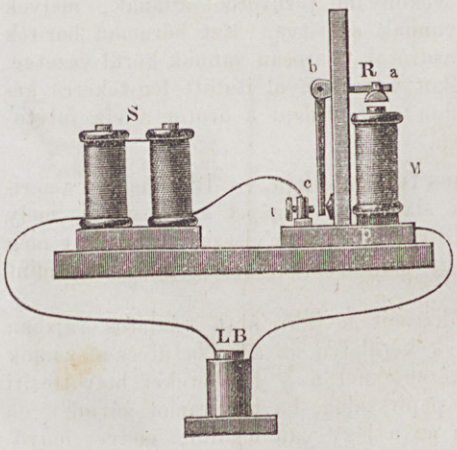
Tehát az egyik állomás batteriája mindkét elektromagnest hozza működésbe; a *b'* batteria nem működik, mert árama meg van szakítva.

Azonban a gyakorlatban az összeköttetés nem olyan egyszerű, mint a minőnek itt látszik. Az irókészülék megindítására meglehetős erős áram szükséges, különben a papirosba nyomott jegyek nem elég tiszták; de hogy az áram ily hosszú dróton át elég erősen működjék, igen nagy batteriát kellene alkalmazni. Ilyen nagy batteriák alkalmazását a következő igen elmés módon kerülték ki.

Minden állomáson két batteria van. Az egyik, a főbatteria az egész vonal elektromagneseit hozza működésbe, de ezen elektromagnesek nem az irókészülékekhez, hanem a Relais-nek nevezett mellékkészülékekhez tartoznak, mely mellékkészülékek feladata a helybeli batteriákat zárni; ezen batteria indítja meg az irókészüléket. A főbatteria tehát annyival gyöngébb lehet, a mennyivel kisebb erő szükséges a batteriák zárására, mint az irókészülékek megindítására.

A relais szerkezetének egyik módját a 382. ábra mutatja. Az ábrát megtekintve látjuk, hogy az LB helybeli batteria *c*-nél meg van szakítva (S az irókészülék elektromagnese); de ha a távolról jövő főbatteria az M elektromagnest működésbe hozza, ez az *a* vasdarabot magához vonzza, miáltal az *abc* szögemelő a helybeli áramot zárja, és az S elektromagnes működésnek indul. Megjegyzendő, hogy a *t* rézcsavar a *p* alzattól fa vagy csont által el van szigetelve.

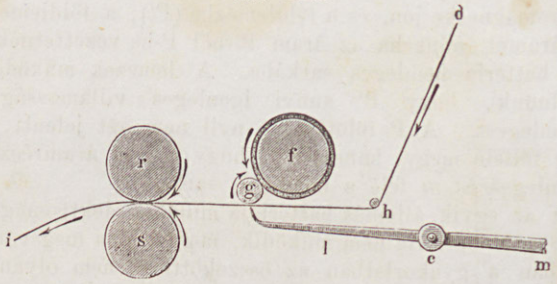
382. ábra.



Sokáig eredmény nélkül fáradoztak azon, hogy a Morse-féle irókészüléknél a bevájt jegyeket szines jegyekkel helyettesíthessék. Ez által a helybeli batteria még gyöngébb lehetne és az irás tisztább volna. Csak a legujabb időben sikerült e kérdés célszerű megfejtése. A berendezést a 383. ábra vázlatos rajzban mutatja.

A *dhi* papirszelet *r* és *s* hengerek által egyenletesen

383. ábra.



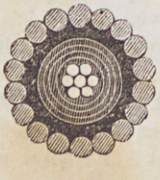
tovább hajtatik, mint az előbbi gépnél. *f* egy, tengelye körül forgó henger, melynek posztó vagy nemez burkolata olajos téntával van itatva. Ezen henger a szintén tengelye körül forgható *g* fémlemezzel érintkezik, melynek éle ez által téntás lesz. Ha az elektromagnes nem működik, akkor a papiros közel *g* alatt elmegy, anélkül, hogy érintené; de a mint az elektromagnes árama záratik, a papirszelet az *lm* emelő által *g*-hez szoríttatik, miáltal a papiroson pont, illetőleg vonal keletkezik. *g* és *f* csak akkor forog, ha a papiros *g*-hez szoríttatik.

4. **A vezető drót.** — A vezető drót különböző, a szerint a mint levegőben, a föld alatt vagy a tengeren át vezetendő a villámáram.

Minthogy a levegő szigetelő anyag, az első esetben csak az alátámasztó pontokat kell a földtől elszigetelni. Ez rendesen porcellánharangokkal történik, melyeknek szilárdan álló vasnyelveihez van erősítve a drót.

Földalatti vezetők guttapercha-burkolat által szigeteltetnek el a földtől. A tenger alatti vezetők több, a 384. ábrában látható keresztmetszetnél 7, vékonyabb rézdrótból állanak, melyek kaucsukcsőbe vannak szorítva. Ezt bőrnemű boríték födi, melyre vasdrótok szorosan vannak körül vezetve. A külső borítékot kátránynyal itatott len-tekercs képezi. Ily módon kell védeni a drótot a víz folytonos hatása ellen.

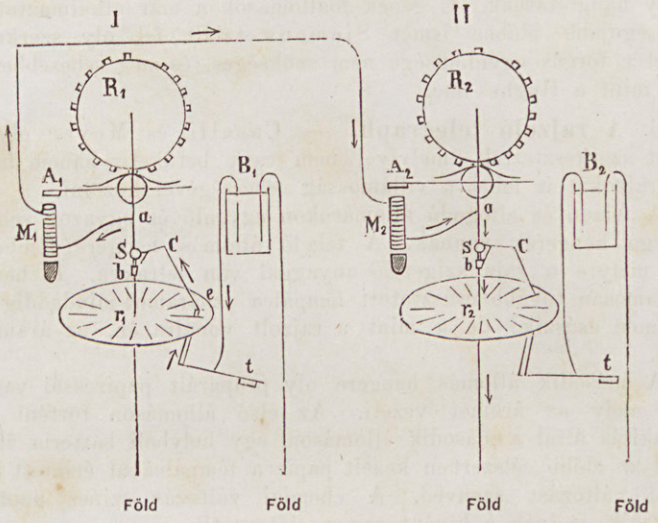
384. ábra



5. **Hughes telegraphja.** — 1859-ben az amerikai Hughesnak sikerült oly gépet szerkeszteni, mely a sürgönyt közönséges betükkel nyomtatva adja vissza. E mellett még az a fontos előnye is van, hogy majdnem háromszor gyorsabb, mint a Morse-féle.

E bonyolódott gépezet főrészeit a 385. ábra vázlatos rajzban mutatja. Az R_1 kerék, melynek kerületén az a b c betűi és a számok foglaltatnak a Morse-féle irókészüléknél a *g* fémkereket helyettesíti (383. ábra), erre szoríttatik a papirszalag, ha az áramot zárjuk; de ezt akkor kell zárni, ha épen az a jegy van legalul, melyet lenyomatni akarunk.

385. ábra.



Ezt a következő módon érjük el. Az R_1 kerékkel egyidejü mozgást végez az ab fémtengely, melyre a C emelő van erősítve; S és b egymástól el vannak szigetelve, és csak a C emelő egyik ága által köttetnek össze, mint II-nél látható, de ha C-t felemeljük, akkor az összeköttetés megszakad, mint I-nél. C emelő vége igen közel az r_1 kerék fölött indul el a forgás alatt, mely r_1 kereken annyi nyilás van, mint R_1-n jegy. R_1 minden jegyének megfelel r_1-ben egy-egy nyilás.

r_1 minden nyilásába fémpálca merül, mely a t emelő lenyomása által a nyiláson át feltolatik. A t emelők a zongora billentyűihez egészen hasonlók. Ha a billentyűt lenyomjuk, akkor az a jegy nyomatik a papirra, melynek megfelelő nyilásába toltuk a fémpálcát. Mert e nyomás által a C emelőt fölemeltük, és így az abr_1 földvezetőt Sb-nél megszakitottuk; másrészt pedig azt az áramot zártuk, mely a B_1 batteriából eCa-n át az M_1 elektromagnes drótjába vezet, és innen a fővezetőbe átmegy, és a II állomáson az M_2 elektromagnesre működik. Ezen elektromagnesek közel álló acéldelejek hatása által folytonosan delejesek, és az áram hatása által annyira gyengűlnek, hogy a rugó által fölfelé tolt A_1 A_2 vasdarabokat többé tartani nem birják. E vasdarabokkal összekötött emelők fölnyomatása által az R_1 R_2 kerekek azon betűjét nyomják a papirosra, mely abban a pillanatban legalul volt. Az óramű ezután a papirszeletet egy betű-távolságra eltolja és egy másik, a kerék bármely helyén levő jegyet nyomathatjuk az első mellé, ha csak a kellő pillanatban nyomjuk le a t billentyűt. Látni való, hogy e gépezet főkelléke az, hogy a különböző állomások kerekei egyenlő sebességgel járjanak. Ennek elérésére

regulatorok vannak alkalmazva, melyeknek segítségével a gépek időnként mintegy hangoltatnak. E gépek főállomásokon már alkalmaztattak.

Legujabb időben ismét Siemens talált fel oly szerkezetet, melynél a forgás egyidejüsége nem szükséges, és még sebesebben dolgozik, mint a Hughes-féle.

6. **A rajzoló telegraph.** — Caselli és Meyer oly telegraphot szerkesztettek, melylyel nem csak betűket, hanem bármily alakú rajzokat is lehet a villámosság sebességével közölni.

A feladó és elfogadó állomásokon egyenlő és egyazon sebességgel forgó hengerek vannak. A feladó állomás hengere fémből készült, melyre a rajz szigetelő anyaggal van felrakva. E hengeren párhuzamosan tovább csúsztatott fémpálca az áramot mindaddig zárja, míg fémen csúszik, de a mint a rajzolt vonalra ér, az áram megszakad.

A második állomás hengere oly präparált papirossal van burkolva, mely az áramot vezeti. Az első állomáson történt árammegszakítás által a második állomáson egy helybeli batteria záratik, miáltal az előbb célszerüen kezelt papir a fémpálcával érintett helyen chemiai változást szenved. A chemiai változás szines pontokban mutatkozik, melyek a kivánt rajzot előtüntetik.

DEBRECZENI m. kir. gazdasági akadémia KÖNYVTÁRA

DEBRECENI EGYETEMI KÖNYVTÁR
Lelt. 13087 - 1965