



A TANULÓK KÉMIAI RÉSZECSKÉKKEL KAPCSOLATOS FOGALMI RENDSZERE

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

LUDÁNYI LAJOS

TÉMAVEZETŐ:
DR. TÓTH ZOLTÁN
EGYETEMI DOCENS

DEBRECENI EGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI DOKTORI TANÁCS
KÉMIA DOKTORI ISKOLA
DEBRECEN, 2008.

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori Tanács Kémia Doktori Iskola K/1 programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem TTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2008. október

Ludányi Lajos

Tanúsítom, hogy Ludányi Lajos. doktorjelölt 2003 – 2006. között a fent megnevezett Doktori Iskola K/1 programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javasolom.

Debrecen, 2008 . október

*Dr. Tóth Zoltán
egyetemi docens*

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	1
1.1.	A KÉMIA TANTÁRGY OKTATÁSÁVAL KAPCSOLATOS PROBLÉMÁK.....	1
1.2.	A KUTATÁSSAL KAPCSOLATOS CÉLOK	3
2.	IRODALMI ELŐZMÉNYEK	4
2.1.	KOGNITÍV FEJLŐDÉS	4
2.2.	A TUDÁS KONSTRUÁLÁSA	6
2.3.	A KOGNITÍV STRUKTÚRA	9
2.4.	NAIV ELMÉLETEK - TÉVKÉPZETEK	11
2.5.	A FOGALMI VÁLTÁS	13
2.6.	A FOGALMAKKAL KAPCSOLATOS PROBLÉMÁK	15
2.7.	A KÉMIA ABSZTRAKCIÓS SZINTJEI	18
2.8.	MODELLEK ÉS ANALÓGIÁK	21
2.9.	A KÉMIA NYELVEZETE	22
3.	A VIZSGÁLAT MÓDSZEREI	25
3.1.	A HAGYOMÁNYOS STATISZTIKAI ELJÁRÁSOKHOZ HASZNÁLT ÉRTÉKELÉS	25
3.2.	A FENOMENOGRÁFIÁVAL KOMBINÁLT TUDÁSTÉR-ELMÉLET	29
3.2.1	<i>A fenomenográfia</i>	29
3.2.2	<i>A tudástér-elmélet matematikai apparátusának használata</i>	30
3.2.3	<i>A tudásszerkezet gráf Hasse-diagrammá alakítása</i>	33
4.	AZ ATOMFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	38
4.1.	AZ ATOMFOGALOM TANÍTHATÓSÁGÁNAK PROBLEMATIKÁJA	38
4.2.	AZ ATOMFOGALOM HAZAI BEVEZETÉSE – TANKÖNYVI DEFINÍCIÓK	41
4.3.	TANULÓI ATOMDEFINÍCIÓK	42
4.4.	AZ ATOM FOGALMÁNAK FENOMENOGRÁFIAI LEÍRÁSA	45
4.4.1	<i>A tanulói atomfogalmat leíró fenomenográfiai kategóriák</i>	45
4.4.2	<i>A tanulócsoport atomfogalommal kapcsolatos jellemző tudásszerkezete</i>	47
4.4.3	<i>Hogyan értelmezhetjük ezeket a diagramokat?</i>	48
5.	MOLEKULAFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	50
5.1.	A MOLEKULAFOGALOM TANÍTHATÓSÁGÁNAK PROBLÉMÁI	50
5.2.	TANKÖNYVI DEFINÍCIÓK	51
5.3.	TANULÓI DEFINÍCIÓK	52
5.4.	A MOLEKULAFOGALOM FENOMENOGRÁFIKUS ELEMZÉSE	55
5.4.1	<i>A tanulói molekulafogalmat leíró fenomenográfiai kategóriák</i>	55
6.	IONFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	59
6.1.	TANKÖNYVI DEFINÍCIÓK	60
6.2.	TANULÓI DEFINÍCIÓK	61
6.3.	AZ IONFOGALOM FENOMENOGRÁFIAI VIZSGÁLATA	62
6.3.1	<i>A tanulói ionfogalmat leíró fenomenográfiai kategóriák</i>	62
7.	A KÉMIAI RÉSZECSKÉK TÖLTÉSÉVEL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	67
7.1.	AZ IONOK ELEKTROMOS TÖLTÉSE	67
7.2.	AZ ATOMOK ELEKTROMOS TÖLTÉSE	69

7.3.	A MOLEKULÁK ELEKTROMOS TÖLTÉSE	70
8.	AZ „ELEM/ELEMI” SZAVAK JELENTÉSÉVEL KAPCSOLATOS NEHÉZSÉGEK...	71
8.1.1	Az „elem” szó jelentése a tanulók válaszaiban	71
8.1.2	Az „elemi” szó jelentése a tanulók válaszaiban	73
9.	A SZIMBÓLUMOK JELENTÉSNEK ISMERETE.....	75
9.1.	A KÉMIAI JELRENDSZERREL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK.....	75
9.1.1	A „H” vegyjel jelentése.....	76
9.1.2	A „H ₂ ” képlet jelentése	76
9.1.3	A „H ⁺ ” képlet jelentése.....	77
9.1.4	Az atomok, molekulák, ionok jelölésének ismerete.....	78
10.	A MAKRO- ÉS AZ ATOMI SZINT KAPCSOLATA.....	80
10.1.	A GYÉMÁNT, VAS ÉS A HOMOK ÖSSZETEVŐINEK ISMERETE	81
10.2.	A LEVEGŐ, CUKOR ÉS PE-ZACSKÓ ÖSSZETEVŐINEK ISMERETE	82
10.3.	A LEVEGŐ ÖSSZETÉTELÉVEL KAPCSOLATOS TAPASZTALATOK	83
10.3.1	Irodalmi vonatkozások a levegővel kapcsolatosan.....	83
10.3.2	A tanulói válaszok kiértékelése.....	84
10.3.3	A levegő összetételének változása a diákok válaszaiban	87
10.3.4	Egy fogalom rögzülésének kutatása	91
10.4.	AZ IONKÖTÉSŰ ANYAGOK ISMERETE	95
10.4.1	A kémia három szintjének kapcsolata a NaCl példáján keresztül	96
11.	AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA	101
11.1.	A TANULÓI FOGALOMDEFINIÁLÁSSAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	101
11.2.	AZ ATOMFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	102
11.3.	A MOLEKULAFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	102
11.4.	AZ IONFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	103
11.5.	A KÉMIAI RÉSZECSKÉK ELEKTROMOS TÖLTÉSÉVEL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	104
11.6.	A KÉMIAI SZIMBÓLUMOK ISMERETÉVEL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK	104
11.7.	A KÉMIA MAKRO- ÉS ATOMI SZINTJÉNEK KAPCSOLATÁRA VONATKOZÓ EREDMÉNYEK	105
11.8.	A FENOMENOGRÁFIÁVAL KOMBINÁLT TUDÁSTÉR-ELMÉLET.....	105
12.	AZ ÉRTEKEZÉS JELENTŐSÉGE, JAVASLAT AZ EREDMÉNYEK ALKALMAZÁSÁRA.	107
12.1.	A MÓDSZERTANI VÁLTOZTATÁS SZÜKSÉGSZERŰSÉGE	107
12.2.	A TANÁRKÉPZÉS SZEREPE	107
13.	SUMMARY	109
14.	IRODALOMJEGYZÉK	116
15.	TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK	126
16.	MELLÉKLETEK	129

1. BEVEZETÉS

1.1. A kémia tantárgy oktatásával kapcsolatos problémák

Az emberiség történetében nem fordult még elő, hogy a természettudományos műveltség akkora szerepet kapjon a mindennapokban, így például az állampolgári jogok gyakorlásában, mint amennyire az jelenünket jellemzi. Napjaink demokráciájában csak a természettudományosan iskolázott polgárok képesek állást foglalni olyan, az életminőségüket, jövőjüket befolyásoló kérdésekben, mint például a klónozás, a klímaváltozás, a génmódosított élelmiszerek, az alternatív energiahordozók használata stb. Csak a megfelelő természettudományos háttérrel rendelkezők élveznek bizonyos fokú védeltséget a fogyasztói világ kihívásaival szemben.

Ezzel szemben egyre nagyobb a tanulási problémákkal küszködő gyerekek aránya, és tény az is, hogy egyre több, főleg középiskolás diák veszti el motivációját a természettudományok megismerése iránt. A kémia tudományában tapasztalható óriási fejlődés nem járt együtt a kémia oktatásának fejlődésével. Eltelt közel száz év, a megtanítandó alapok gyakorlatilag változatlanok, és a kémia mindmáig a nehezen tanulható, nehezen megérthető tantárgyak közé tartozik. Az, hogy nem sikerült úrrá lenni oktatásunk problémáin, napjainkra odavezetett, hogy magának a diszciplínának a léte kérdőjeleződött meg az alap- és középfokú oktatásban.

A kémia módszertanával foglalkozó kutatók (*Gabel, 1999; Johnstone, 2000; Goodwin, 2000; Taber, 2001; Bailey és Garratt, 2002; Saul és Kikas, 2003; Sirhan, 2007*) egyetértenek abban, hogy a kémia nehézségét a tantárgy komplexitásán túl az oktatásunk nem megfelelő volta okozza: az oktatási folyamatot mindmáig a felfedezők, tudósok logikája határozza meg, nem pedig a tudománnyal találkozó tanuló nézőpontja; a kémia nyelve nehezen érthető, nem mindig következetes; a kémiai fogalmak többsége absztrakt, a magyarázatukra alkalmazott analógiák, hasonlatok félrevezetők; és az általánosan elterjedt oktatási stratégia sem felel meg már a XXI. század elvárásainak.

A tanulási (és nyilván tanítási) sikertelenségek okainak feltárására a pedagógiai pszichológia tanulással, fogalomalkotással kapcsolatos eredményeinek felhasználásával került sor. Ennek fejleményeként jelent meg mintegy negyedszázada az oktatásban egy új, a természettudományos oktatás számára igen ígéretes szemléletmód, a konstruktivizmus. Az

elmélet lényege, hogy a tudás nem valami rajtunk kívül létező, az idők során kikristályosodott ismerethalmaz, amit a tanár megpróbál átadni a diákoknak, hanem a tudás az a rendszer, amit a tanuló saját maga alakít ki elméjében. Ez a tudáskiépülés már az iskola előtt megkezdődik, amikor a diákok létrehoznak elméletszerű fogalmi struktúrákat a világ jelenségeinek magyarázatára. E fogalmak szolgálnak aztán kiindulási alapként a tudományos ismeretek elsajátításában.

A kémia oktatásának legkritikusabb pontja az új, többnyire absztrakt fogalmak kialakítása. Az értelmes tanulás feltétele az, hogy az új ismereteket a diákok képesek legyenek hozzákapcsolni a már meglévő fogalmi struktúrájukhoz. Fontos, hogy a tanárnak ismeretei legyenek arról, hogy milyen fogalmi struktúrával rendelkezik a tanuló a tanulási folyamat megkezdésekor, és ez a fogalmi rendszer miként változik az oktatási folyamat során. Amennyiben a pedagógus rendelkezik ezzel az információval, úgy alakíthatja óravezetését, hogy megtalálja a kapcsolódási pontokat a diákok fogalmi rendszeréhez, illetve lehetőséget teremthet arra, hogy a diákok szembesüljenek azzal, ha elképzeléseik nem helyesek.

Ennek a tudásszerkezetnek a feltárására, a változás nyomon követésére dolgoztam ki egy, a Magyar Tudományos Akadémia által is ígéretesnek minősített eljárást (*Ludányi, 2006a*). Ez a „fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet” abban nyújt segítséget, hogy – ideális esetben – a tanulócsoport egyetlen nyílt végű kérdésre adott válaszában feldolgozásából következtetni lehessen arra, hogy melyek azok a lényegi elemek, amelyeket egy adott fogalom esetén fontosnak tart a diákok többsége; és ezek az elemek milyen hierarchia szerint építik fel a fogalmat. Vizsgálatom tárgyául az alapvető kémiai részecskéket választottam, hiszen ha már a bázisként szolgáló kémiai fogalmak esetén is értelmezési problémákat okoz oktatásunk, kevés esély marad arra, hogy a továbbiakban a kémiát ne érthetetlen, csak magolással elsajátítható tények halmazának, és egy készen kapott, abszolútnak tűnő, nem pedig egy logikai következtetéseken alapuló rendszernek gondolják a diákok.

1.2. A kutatással kapcsolatos célok

A célok két területe jelölhető meg munkám kapcsán:

1. Magyarországon még senki nem vizsgálta azt, hogy miként építik fel a diákok alapvető kémiai részecskékkal kapcsolatos fogalmaikat; milyen megértési nehézségekkel kerülnek szembe az oktatás során; tévképzeik mennyire hasonlatosak a külföldi szakirodalomban megjelenőkhöz. Ez a munka úttörő jelentőségű, egyben hiánypótlás a tankönyvírók, tantervfejlesztők és a tanárképzésben dolgozók számára.

2. A fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet egy új módszer a szakdidaktikában. Munkám során igyekeztem bizonyítani a módszer életrevalóságát, használhatóságát különféle pedagógiai-didaktikai kérdések esetében.

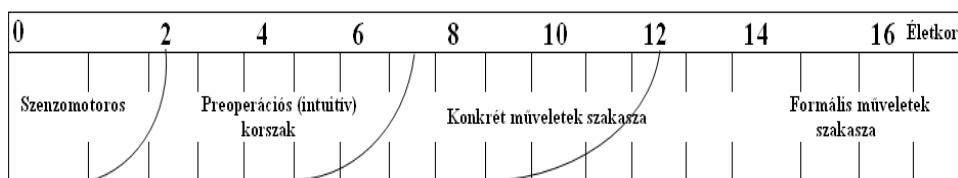
Konkrét célok :

- Megvizsgálni az alapvető kémiai részecskékkal kapcsolatosan kialakult fogalmak rögzülését, a fogalmak felépülését, illetve ezen fogalmakban az oktatás hatására bekövetkező évenkénti finomszerkezeti változást.
- Az egyes fogalmak esetén feltárni azokat az értelmezési nehézségeket, amelyekkel a tanulók a tanítási folyamat során szembekerülhetnek, és amelyek okozói lehetnek tanulási sikertelenségüknek.
- Megvizsgálni az utóbbi években Magyarországon kiadott 7-8. évfolyamos kémia tankönyvek fogalomépítése, definíciói és a tanulói fogalomalkotás közti kapcsolatot.
- Feltárni a szimbólum- és molekuláris szintek szereplőinek ismertségét, valamint azt, hogy a három szint (anyagi halmaz – szimbólumok – molekuláris szint) között miként tudnak a diákok kapcsolatot teremteni.
- Megkeresni azokat a lehetőségeket a felmérés keretein belül, amelyek az új módszer, a fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet segítségével feldolgozhatók.

2. IRODALMI ELŐZMÉNYEK

2.1. Kognitív fejlődés

A legelterjedtebb gondolkodásfejlődéssel kapcsolatos elmélet Piaget (1990) univerzális konstruktivizmusa. Elmélete szerint az egyén biológiai érése folyamán mentális reprezentációit az őt körülvevő világról a környezet adta elemekből konstruálja. A gyermek gondolkodási fejlődése egymást követő és egymástól különböző állapotok mentén halad. Piaget gondolatrendszerében a fejlődés minőségileg eltérő periódusokra tagolódik, amelyek sorrendje minden kultúrában ugyanaz. A fejlődés négy szakaszán tehát a tanulók mindig ugyanazon rend szerint haladnak végig: a szenzomotoros koordinációt az intuitív, majd a konkrét és a formális műveletek szakasza követi. (1.ábra)



1. ábra Piaget-i kognitív fejlődés szakaszai (Nurrenbern, 2001)

Kémiaoktatásunk számára a konkrét és a formális műveletek szakasza érdekes. Egy, a konkrét műveletek szakaszába tartozó diák számára nehéz megtanítani olyan fogalmakat, amelyek szemléletes-képi módon nem érzékeltethetők. Az általa használt szavakat, fogalmakat számára „kézzelfogható” tartalommal kell megtölteni. Az ebbe a szakaszba tartozó diák számára problematikusak az olyan fogalmak, amelyeket például hányadosképzéssel definiálhatunk (sebesség, sűrűség, gyorsulás, molaritás). Feladatmegoldás során az ilyen diák előszeretettel használja a képletekbe történő behelyettesítést. A sűrűség képlettel történő kiszámítása például nem jelent számára problémát, ugyanakkor nem tudja felhasználni a fogalmat olyan egyszerű feladat megoldására, mint „ha a kénsav nagyobb sűrűségű a víznél, azonos tömegű víz és kénsav közül melyiknek nagyobb a térfogata?”. Előszeretettel alakít ki és használ algoritmusokat egy probléma megoldására anélkül, hogy tisztában lenne a probléma lényegével, azaz sikerrel tud rendezni egy kémiai egyenletet úgy, hogy a jelölések számára pusztán betűket és matematikai jeleket jelentenek. A formális szakaszba tartozó diák számára a fogalmak már elvont fogalmakként használatosak. Kezelni tudja, hogy ugyanazon fogalmat alkotó egyedek esetleg egymásnak ellentmondó sajátossággal rendelkezhetnek. Például a királynő fogalmába beletartozhat a

mesebeli szépséges uralkodó, az angol királynő és akár a sakkjáték figurája is. Ugyanezen az elven nem azonosítja az atomot sem a műanyag gömbcsonkkal, sem a „hagymahéjszerű” Bohr-moddal, tudja, hogy azok egyféle megjelenítései csupán az atomnak. Képes hipotéziseket felállítani és ellenőrizni, logikai következtetéseket tud levonni bizonyos törvények megismerése után, tud váltani a megfelelő (pl. sav-bázis) elméletek között. A két szakasz között nem egyirányú az átjárás, azaz a magasabb szintű műveleti szakaszba tartozó diákokra is jellemző, hogy új tudásterületre érkezve hajlamosak visszanyúlni a konkrét szakasz módszereihez, például a képlettel történő számoláshoz egy-egy probléma megoldásakor (*Bailey és Garratt, 2002*). *Herron (1975, 1978)* azt a véleményt képviseli, hogy a kémia egésze és az a fajta megközelítés, amit mi tanításunk során alkalmazunk, azt követeli meg, hogy a diák a formális szinten legyen, tudja alkalmazni a szint műveleteit, képes legyen felfogni azokat a fogalmakat, amelyeket elé tárunk. A kémia tantárggyal kapcsolatosan elvégzett vizsgálatok (*Young, 2003*) szerint az első éves – nem természettudományos szakirányú – egyetemisták mintegy fele nem éri el a formális szintet, és a természettudományos, de nem kémia szakos hallgatók esetén sem sokkal jobb ennél a helyzet. Ez kérdésessé teszi azt a piaget-i feltételezést, hogy a konkrét → formális átmenet univerzális, azaz minden tudásterületen elkerülhetetlenül bekövetkezik. *Duschl, Schweingruber és Shouse (2007)* szerint a fogalmi fejlődés 30-40 évvel ezelőtti elképzelésével szemben a fiatal gyerekek képesek konkrét és absztrakt módon is gondolkodni. A fogalmi fejlődés nem egyfajta elkerülhetetlen kiteljesedés, amellyel kapcsolatban csak annyi a teendőnk, hogy megvárjuk, míg a gyermek kognitívan „kész” állapotba kerül az absztrakt, elméleti bázison nyugvó tartalom befogadására. Ellenkezőleg, a szülőknek és a tanároknak segíteniük, befolyásolniuk kell a gyermekek tanulását, az adott gyermeki korra jellemző tudáskapacitásúra építve. A felnőtteknek főszerep jut abban, hogy felkeltsék a diákok érdeklődését, majd ezt követően megfelelő irányultsággal fenntartsák a figyelmüket, strukturálják a tapasztalataikat, és szabályozzák az átadott információk komplexitását és mélységét. A tanulási környezetnek is sokkal meghatározóbb szerepe van a fejlődésben, mint azt Piaget feltételezte. A fizikai környezettel való interakció helyett Vigotszkij (*Edwards és Mercer, 1987*) a társakkal történő együttes konstrukciókra helyezte a hangsúlyt. Elméletében meghatározó szerepet kapott a szociális interakció és az interperszonális kapcsolatok, illetve az egész, a gyereket körülvevő társadalmi kontextus. Szerinte a tanuló értelmi fejlődésének formálódását nem csak a körülvevő fizikai világgal történő adaptív találkozása befolyásolja, hanem a világunkat alkotó egyének közötti kapcsolatok is. A világról alkotott kép nem csupán fizikailag, az érzékszerveinkkel felfogható módon alakul ki bennünk, hanem a nyelvhasználat is segítségünkre van

ebben. Az emberi tudás és gondolkodás alapvetően kulturális jellegű megkülönböztető jegyei a nyelvvel, a kommunikációval és más kulturális formákkal történő kapcsolatokból származnak. A tanulás és a nyelvhasználat összefonódik. Ennek a gondolatkörnek egyik legjelentősebb megközelítése a Jerome Bruner nevéhez köthető szociális konstruktivizmus (*Marín, Benarroch, Jiménez-Gómez*, 2000). Szerinte a tanulás által létrejött tudás a vitákból, beszélgetésekből leszűrt következtetések gyűjteménye. Elmélete alapján a különböző kulturális hatásoknak köszönhetően a fejlődés szakaszai nem univerzálisak, vagyis a kognitív fejlődés területspecifikus. Az elvont fogalmi gondolkodás elmaradása nem pusztán a diák értelmi képességeivel kapcsolatos probléma, hanem az adott tudásterületen mutatkozó konkrét, érzéki tapasztalatok hiánya áll a jelenség mögött. A kémia tantárggyal szemben érzett tanulói ellenállás egyik oka lehet, hogy a legáltalánosabban használt oktatási módszer – a prezentációs stratégia – nem biztosít kellő lehetőséget arra, hogy bekövetkezzen ezen a tudásterületen is a formális szakaszba történő átmenet. A tudásátadás szervezése folytán mesterségesen elválasztódik egymástól a elméleti és a gyakorlati tudás. A tanulók az oktatás során atomizálódnak, a tudás megszerzése versennyé válik. Nem tudnak élni azzal a lehetőséggel, hogy egymás sémáiból tanuljanak, nem tanulják meg az együttműködés alapelemeit. Azok az alternatív oktatási stratégiák (kooperatív tanulás, projektmunka, felfedezéssel és kutatószellemű tanítás, médiapedagógia stb.), amelyek központi eleme a tanulók személyes konstrukcióinak messzemenő figyelembevétele, nagyobb eséllyel teremtik meg az adott tudásterületen a konkrétból a formális szakaszba történő átmenetet.

2.2. A tudás konstruálása

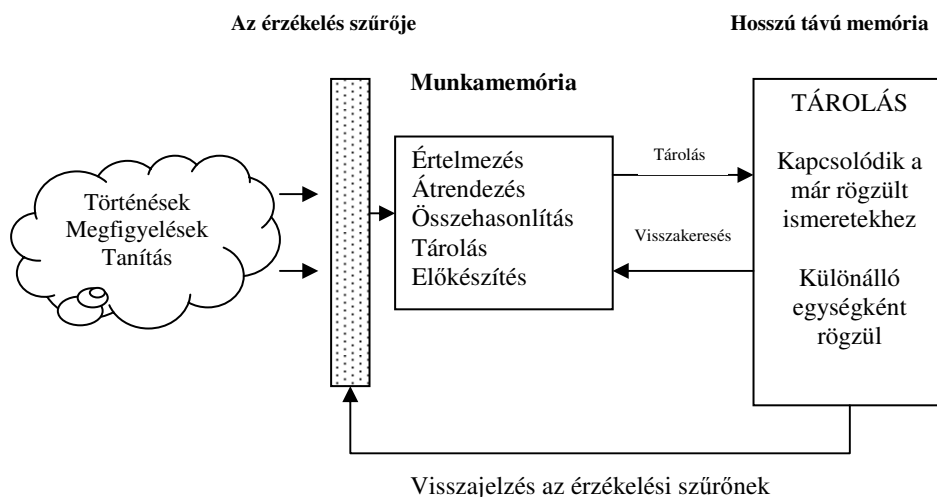
A valóság sokszorosan cáfolta azt az egyszerűsített elképzelést, hogy a tanulási folyamat információátadás a tanártól a diák felé, amely akkor eredményes, ha az információforrás precíz és világos, a vevő készen áll a jel fogadására, és a zaj-jel viszony is az ideális értéket képviseli.

Kutatások sokasága bizonyítja, hogy a tanulási folyamat nem redukálható egyszerű információátadásra (*Johnstone*, 1997; *Pléh*, 1998). A természettudományok oktatásával kapcsolatosan legígéretesebbnek tűnő nézőpont napjainkban a konstruktivista szemléletmód (*Bodner*, 1996; *Taber*, 2000a; *Scerri*, 2003). Kialakulásához a már említett Piaget-n, Vigotszkijon és Bruneren túl pszichológiai részről nagymértékben Kelly és Ausubel munkássága járult hozzá (*Taber*, 2000b). Kelly pszichológusként azt az utat kutatta, amelynek révén a köznapok során a világról alkotott modellünket konstruáljuk, teszteljük és ennek alapján módosítjuk. Véleménye szerint a tanulás a modellképzés-tesztelés-módosítás iterációjaként fogható fel. Ez a

hétköznapijainkban használt módszer egybeesett azzal, ahogy a tudósok tesztelik felállított modelljeiket, innen elméletének elnevezése a 'man as scientist'. Ausubel a megértést hangsúlyozta a tanulásban, az ismeretek memorizálásával szemben. A tanulás szerinte akkor lehet értelmes, ha az, amit megtanulunk, köthető egy már korábban rögzített tudáselemhez. Ekkor a tanulók nem csupán megjegyzik a fogalmakat és tényeket, hanem kiépítenek egy kapcsolatokkal rendelkező ismeretrendszert, amit később fel tudnak használni új jelenségek, szituációk magyarázatára.

A konstruktivista szemléletmód értelmében (*Nahalka, 1997*), a tanuló nem passzív résztvevője a tanulási folyamatnak, hanem tevékenyen vesz benne részt. A tanulók a tanulási folyamatba magukkal hozzák előzetes ismereteiket. De az oktatási folyamatba bevont tanárok is ugyanígy magukkal hozzák a tanulásról, tanításról (és a tananyagról) szóló előzetes ismereteiket. A tanulás során az elme nemcsak passzív befogadója az új tudásnak, hanem azt aktívan manipulálja, megkonstruálja. A konstruktivista szemléletmód szerint nem a tudás igaz vagy hamis volta a lényeges, hanem annak adaptivitása. Az a „helyes” tudás, amelyik életrevaló, azaz alkalmas jelenségek magyarázatára, előrejelzésére és cselekvésünk irányítására.

Mielőtt az iskolai oktatás elkezdődne, a tanulók már kialakítanak magukban a mindennapi tapasztalataik alapján olyan elméletszerű fogalmi struktúrákat, amelyekkel az őket körülvevő világ magyarázható. Ezek az előzetes ismeretek, az ezekből kialakított elvárások hatással vannak a megfigyeléseikre, érzékszerveikkel nyert tapasztalataikra. A tapasztalat tehát nem a külső világ objektív lenyomata, tükörképe, hanem a megismerő által aktívan manipulált, a belső értelmező rendszer által értelmezhetővé alakított rendszer. A tanulás, a tudás kialakítása szempontjából döntő jelentőségű a már meglévő világgép, a bennünk kialakult belső értelmező rendszer, a megelőző tudás. Az előzetesen kialakított gondolati rendszerünk ugyanis egyfajta szűrőként kezeli a tanulási folyamat során beérkező információkat. (2. ábra) Például úgy, hogy elutasítja azokat az információkat, melyek ellentétesek a már kialakult világgéppel; vagy úgy módosítja az elhangzottakat, hogy azok illeszkedjenek az előzetesen kialakított gondolati rendszerhez, és így kapcsolja a már meglévő tudáselemekhez; és előfordul az is, hogy elszigetelten tárolja a memória valamely szegmensében az ismeretet, amint az például a magolás esetén történik.



2. ábra A tanulási folyamat egyszerűsített információs modellje
(Johnston, 1997)

Ennek megfelelően egy kísérlet értelmezését, egy tankönyvi ábra jelentését vagy a tanári magyarázat tanulói értelmezését is diákunk az előzetes ismereteinek megfelelően formálja át. A tanuló az iskolai oktatás során erre, a már kialakított belső értelmező rendszerére támaszkodva kezdi építeni saját tudásszerkezetét, amelybe több-kevesebb sikerrel igyekszik beilleszteni, hozzákapcsolni a tananyagban előkerülő újabb jelenségeket. Az, hogy minden egyes tanuló egyedi tudásstruktúrával rendelkezik, azt is jelenti, hogy nem létezik a tökéletes tanítási módszer, amely minden diákra egyaránt alkalmazható. A pedagógus feladatai közé tartozik az előzetes ismeretek feltárása, és ennek révén a optimális tanulási módszer megalkotása, az osztályhoz való alakítása.

A tanulás tehát nem egyszerűen egy tudástranszfer a tanártól, vagy a tankönyvtől a diák felé, hanem a tanár számára láthatatlan és jórészt ellenőrizhetetlen, a tanuló által megvalósított építő folyamat. Fisher (2004) találó hasonlata szerint a tanárok nagy része még nem szembesült azzal a ténnyel, hogy ha a tanulók előzetes ismereteit figyelmen kívül hagyják, az olyan, mintha hátrakötött kézzel, bekötött szemmel vezetnének egy autót. Fogalmuk sincs éppen mit tesznek, hová is haladnak, és ráadásul mindez tövig nyomott gázpedálnál történik.

2.3. A kognitív struktúra

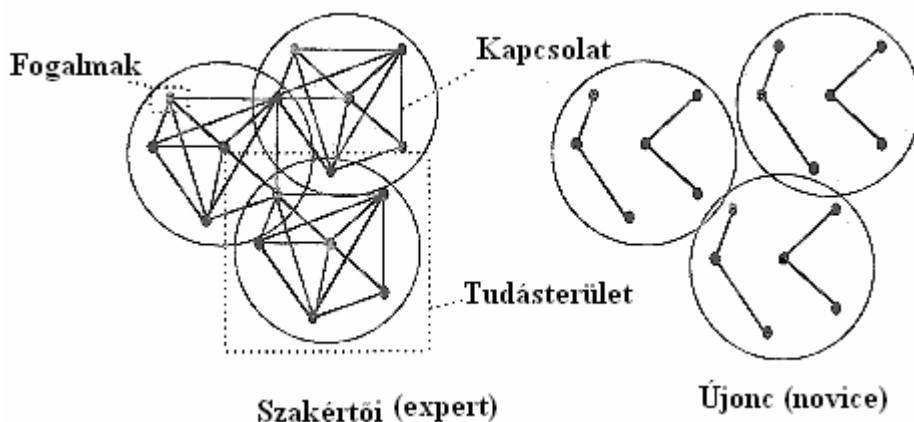
Egyértelmű, hogy csak a strukturált módon kialakított tudást lehet hasznosítani: azaz az olyan tudást, amelyben a tudáselemek kapcsolódnak egymáshoz, hivatkoznak egymásra, és így hoznak létre egy rendszert. Tudásunk kiépítésének módszere az, hogy az új ismeretet a már meglévő rendszerünk eleméhez, elemeihez kapcsoljuk. A tudás ennek következtében nem egyszerűen tények tárháza, hanem fogalmainknak kiterjedt hálózata, idegen kifejezéssel egy *kognitív struktúra*. A *kognitív struktúra* jellemzője, hogy rendezett szerkezet, amely képes hónapok, évek, de akár másodpercek alatt is megváltozni, átrendeződni. A kognitív struktúra alkotói közé a következő dimenziókat sorolják a kutatók:

- Ismeret jellegű és képesség jellegű tudás.
- A mindennapi élethez kötődő egyetemes törvények, valamint speciális tények, adatok.
- Tapasztalatainkra épülő, általában logikailag jól szervezett értelmező keretrendszer.
- Azok a tények, amelyekben mélyen hiszünk, és helyességükről meg vagyunk győződve (és azok is, amelyekben már nem vagyunk ennyire biztosak).
- Töredezett ismeretek, amelyet olyan tudásfoszlányok alkotnak, amelyek gyengén rögzült ismeretekből maradtak vissza.
- Egy olyan beállítódás ('előprogramozottság'), amelyet a világról való megismerésünk és a kulturális milióink határozott meg.

Amennyiben a gondolkodás és a kognitív struktúra kapcsolatára számítógépes hasonlattal élünk (Taber, 1999), akkor a kognitív struktúra jeleníti meg a hardvert, a gondolkodás pedig a rajta lefuttatott programot. Ez a hasonlat nem lehet tökéletes, mert a kognitív struktúra dinamikus, másrészt míg a számítógép egy program lefuttatásából többnyire egy várható, megjósolható eredménnyel tér vissza, addig a tudat annyira összetett, soktényezős, hogy a kimenet nem jósolható meg ilyen egyértelműen, hasonlóan például a meteorológiai előrejelzés számítógépes modellezéséhez. Ezzel magyarázható, hogy ugyanazon bemenet (tanári magyarázat) esetén is különböző kijövő értékeket kapunk az egyes diákoknál. Nyilván lehetséges az is, hogy valaki olyan elképzelést „tárol”, amelyben nem hisz; vagyis kognitív rendszerében egymásnak ellentmondó elképzelések is helyet kapnak. Ez teszi lehetővé, hogy valaki többféle keretrendszert legyen képes használni ugyanazon jelenség értelmezésre. Nem ritka dolog, hogy tanulók a szituációtól függően tanórán a „hivatalos”, köznapi esetben az általuk használatos „saját” értelmező rendszer szerint értelmezik a jelenségeket (Bloom, 1992).

A kognitív kutatások egyik feladata feltárni a tanulók kognitív struktúráját, az általuk birtokolt fogalmakat, azok kapcsolatát. Bár nem vagyunk képesek hozzáférni direkt módon a tanulók kognitív struktúrájához, de a tanulói visszajelzésekből (állítások, válaszok a kérdésekre, rajzok stb.) következtetéseket vonhatunk le annak felépüléséről. Megoszlik a kutatók véleménye a tanulók korai elképzeléseiről, fogalmaik természetéről, szerveződéséről. Egyes kutatók eredményei arra utalnak, hogy a fogalmakra, szerveződésükre inkább az a jellemzőbb, hogy zavarosak, labilisak, töredezetek és környezetfüggők (Potari és Spiliotopoulou 1996; Fischbein, Stavy és Ma-Naim, 1989). Mások eredményei arra utalnak, hogy tágran értelmezett, rugalmas, elméletszerű, következetes, jól szervezett felépülésről van szó (Carey, 1985; Vosniadou, 1992).

A fogalomrendszerek formális leírására a gráfok a leginkább használatosak. Ilyen például a fogalmi térkép, fogalmi háló (Kiss és Tóth, 2002), a Galois-gráf (Takács, 2000), és a tudástér-elmélet – Knowledge Space Theory – (Tóth, 2006). Ezekben az a közös, hogy az adatok elemzéséből felállítanak egy modellt annak kiderítésére, hogy azok a fogalmak, amelyekkel az egyed vagy a tanulócsoport rendelkezik, milyen kapcsolatban vannak egymással. Két vagy több fogalom kapcsolata alatt azt értjük, hogy azok egymás számára értelmezhetőek és előhívhatók. Szemléletesen egy olyan hálózatot képzelhetünk el, melynek csomópontjai a különböző fogalmakat jelentik, és ezek kapcsolódását vonalakkal jelezzük. Például egy szakértő és egy kezdő fogalmi rendszerét hálózattal jellemezve, látható (3.ábra), hogy azok egymástól bonyolultságukban különböznek.



3. ábra A szakértői (expert) és újonc (novice) fogalmi rendszerének sematikus különbsége

A szakértő/újonc (expert/novice) váltást vizsgáló kutatás eredményei arra utalnak, hogy a fizika, az orvostudomány vagy a sakk területén szakértő egyének elsősorban a tudásbázisukat képező információ

tartalmában és szerveződésében különböznek az adott területen újoncoktól, nem pedig az erőteljesebb általános feldolgozó stratégiák használatában. Ezek az eredmények megegyeznek a természettudományos nevelők megfigyeléseivel is (*Vosniadou és Ioannides*, 1999).

A tudás akkor használható fel leginkább, ha strukturáltsága kompatibilis azzal, ahogy a többi ember kiépítette a saját struktúráját. Az oktatási folyamatra vonatkoztatva ez azt jelenti, hogy a tanulók kognitív struktúrája akkor a legmegfelelőbb, ha a kiépülése követi a bennünk, tanárokból kiépült struktúrát (*Taber*, 2000b). Ez látszólag ellentmond több pszichológus megállapításának, akik szerint a tudás kiépítésének folyamata és maga a létrejövő szerkezet is egyedi; mindannyian másként jutunk el a folyamat végére. Ezt a ellentmondást azzal oldhatjuk fel, hogy valóban, mindenre egyedi kognitív struktúra jellemző, de ezekben a struktúrákban nagyon sok a közös vonás.

2.4. Naiv elméletek - tévképzetek

A természettudományok taníthatóságával foglalkozó kutatók az 1970-es évektől kezdtek el részletesen foglalkozni a tanulók által a környező világ magyarázatára létrehozott elméletszerű fogalmi struktúrákkal, a természeti jelenségek megértésére alkotott spontán gyermeki elméletekkel. A jelenségkörrel foglalkozó kutatók különböző elnevezésekkel illették a fogalmat (*Korom*, 1997): alternatív keret (alternative framework), fogalmi keret (conceptual framework), alternatív fogalom (alternative conception), gyermeki elképzelések (children's ideas), prekonceptió (preconception), tévképzet (misconception), minielmélet (minitheorie), gyermeki tudomány (children's science), mentális modell (mental model), előzetes elképzelések (previous ideas), intuitív elmélet (intuitive theory), naiv hiedelmek (naive belief) stb.

A kutatás egyik elindítója az a tapasztalat volt, hogy a diákok az iskolában nem „tisztá lappal” kezdenek, hanem magukkal hozzák elképzeléseiket az őket körülvevő világ működéséről. Ezek az elképzelések és az ezekből levont következtetések nagyfokú hasonlóságot mutattak; nemcsak egy diákcsoport tagjai között, hanem más országok, más földrészek hasonló korú tanulóival is kimutatható volt ez az egyezés (*Vosniadou és Ioannides*, 1999). Ez arra utal, hogy a tanulók spontán módon szerveződött fogalmi hálójuk hasonló felépítésű, közös elméleteket tartalmaz. További tapasztalat volt, hogy ezeknek a kezdeti elképzeléseknek némelyike az iskolai oktatás hatására nyomtalanul eltűnt, míg más elképzelésekhez a diákok makacsul ragaszkodtak. Gyakori esetnek bizonyult az is, hogy olyan – egyébként kiváló – tanulók, akik az iskolai rutinfeladatokat hibátlanul képesek megoldani, ismeretlen, újszerű helyzetekben, a tantárgytól esetleg elszakadva, a probléma megoldására az iskolai tudás helyett visszatértek naiv

elméleteikhez, a hozzájuk kötődő fogalmakhoz (Gardner, 1993). Az elvégzett vizsgálatokból az is kiderült, hogy a tanulók jelentős hányada azért nem volt képes elsajátítani a tananyagot, mert naiv elképzeléseik révén a fogalmi rendszerükbe olyan hibás elemek épültek be, amelyek gátolták a tananyag további megértését (Nahkleh, 1992). Ezeket a diákok által félreértelmezett, tévesen használt fogalmakat, amelyek eltérnek az általánosan elfogadott tudományos nézetektől, tévképzeteknek nevezzük.

A tévképzetek érdekessége, hogy nemtől, tantárgytól, országtól, oktatási rendszertől függetlenek. A kutatók által feltárt tévképzetek többsége gyakorlatilag minden országban ugyanúgy fellelhető. A tévképzetek makacsul ellenállnak az oktatásnak, néha még felnőtt korban és akár a szaktantárgyat oktató tanárok esetében is kimutathatók (Valanides, 2000; Sarikaya, 2007). Tartósságuk egyik lehetséges magyarázata (Korom, 2003), hogy a diákok meg vannak győződve magyarázataik helyességéről, értik az általuk létrehozott és fogalmi rendszerükbe jól illeszkedő fogalmakat. Nincsenek tudatában annak, hogy fogalmaik csak részben vagy egyáltalán nem felelnek meg a tudományos nézeteknek, hiszen a körülöttük levő világot jól tudják velük értelmezni, a hétköznapi életben könnyen boldogulnak velük.

Az oktatás hagyományos (objektivista) és tévképzetes szemléletének különbözőségére mutat rá az alábbi táblázat (Taber, 2000b):

I. táblázat A hagyományos és a tévképzetes oktatási mód összehasonlítása

Hagyományos (objektivista) szemléletmód	Tévképzetes szemléletmód
A diákok úgy érkeznek az oktatásba, hogy az illető tantárgyból <i>kevés tudással</i> rendelkeznek.	A tévképzetek léteznek. A diákok úgy érkeznek az oktatásba, hogy magukkal hozzák előzetes elképzeléseiket, amelyek <i>nem egyeznek meg</i> a tudományosan elfogadott fogalmakkal.
A diákok <i>néhány dolgot tévesen</i> ismernek. Ezek a médiából, barátoktól, családból erednek.	A tévképzetek forrásai a tanuló <i>előzetes ismeretei</i> , amelyek a tanórai magyarázatokból, az őt körülvevő fizikai és szociális világgal való kölcsönhatásból erednek.
Bármelyik rosszul rögzült tény <i>eltűnik</i> , ha a tanítás során kellően érthetően és hitelesen lépünk fel.	A tévképzetek <i>stabilisak, széles körben elterjedtek, és a változásnak makacsul ellenállók</i> lehetnek.
A diákok <i>maguktól rájönnek</i> , hogy rosszul gondolkodnak, amikor ismertetjük velük a helyes elképzeléseket.	A tanulók <i>tévképzetei kölcsönhatásba kerülnek</i> a tananyaggal.

Hagyományos (objektivista) szemléletmód	Tévképzetes szemléletmód
Nem szükséges az oktatás során külön hangsúlyozni azt, hogy mit gondolnak rosszul a tanulók, elég, ha <i>rámutatunk</i> , hogy az rossz.	A tanítás során segítséget kell nyújtani a diáknak, hogy <i>lecserélhesse</i> tévképzetét a helyes elképzelésre.
A tanári munka fókuszába a <i>korrekt elképzelés</i> minél érthetőbb és a legjobb megközelítést nyújtó <i>magyarázata</i> kerül.	A tanítás során segíteni kell a diákot abban, hogy a <i>szembesüljön</i> tévképzete tarthatatlanságával.
A kutatásnak azt kell szem előtt tartania, hogy miképpen tudja <i>még érthetőbbé</i> tenni a diákok számára a fogalmakat.	A kutatók feladata a <i>tévképzetek feltárása</i> , hogy ezek ismeretében megalkotható legyen az a fajta órávezetés, amikor a diák szembesülhet elmélete tarthatatlanságával.

A tévképzetkutatás közel húsz éve alatt a tévképzetek jó részét felderítették, kategorizálták és bárki számára elektronikus könyv (*Barker*, 2000), illetve digitális adatbázis formájában hozzáférhetővé tették (*Duit* évszám nélkül; *Camacho*, 2006; *Daisley*, é.n.) az interneten. Ennek segítségével a tanár egy iránymutatást kaphat arról, hogy az oktatás adott fokán tartózkodó tanulóknak valószínűleg milyen alternatív elképzelései vannak az adott témában. Ez csupán azt jelenti, hogy ezek a közös alternatív elképzelések (illetve ehhez hasonlóak) azok, amelyek a tanulócsoporthoz több diák elképzelését jellemzik, de ettől természetesen az egyedi tanulók nézetei különbözhetnek.

2.5. A fogalmi váltás

A tanulói tudásnak két forrása van (*Strike és Posner*, 1985). Az egyik, amelyet a diák a környezetének vizsgálatából szerez. Ezt nevezzük intuitív vagy naiv tudásnak. Elsődleges jellemzője ennek a tudásnak, hogy ebből áll össze az illető személy *saját* valósága. A tudás másik forrása, a hivatalosan történő oktatás, vagyis az iskolai tudás, amely *valaki másnak* az értelmezése a világról, valaki másnak a valósága. Ez utóbbi tudásnak a jellemzője, hogy tekintélyen alapul, hivatalos; ennek következtében a diákok számára sokszor önkényesnek, kényszerűnek, nehezen elfogadhatónak tűnik. *Csapó* (1999) szerint az egyik leggyakoribb tévedés, amely a természettudomány tanításában előfordul, az éppen az a többnyire nem tudatos feltételezés, hogy az egyéni ismeretszerzés is ugyanolyan szervezett és szigorúan racionális folyamat, mint a tudományos kutatás. A tanulók eltérő előzetes tudása, tapasztalatai, a rendelkezésükre álló gondolkodási-művelési apparátus korlátozottsága miatt a keletkezett új tudás minőségileg is más, mint amire hasonló feltételek mellett a tudomány jut. *Hawkins és Pea* (1987) szerint is az alternatív elképzelések és a tudományosan elfogadott ismeretek két különböző gondolkodásmódot jelentenek, csak kevés kapcsolat van

köztük. Ők a mindennapi gondolkodásunkat és a hivatalos, tudományos gondolkodást „két kultúraként” különböztetik meg. E két tudásforrásból származó információ konfliktushelyzetet okozhat, amikor a tanuló szembesül azzal, hogy azok a megoldások, melyeket egy-egy probléma megoldására eléje tárnak, nem egyeznek meg a saját valóságával. Az ekkor előálló konfliktushelyzet során kell döntenie a tanulónak arról, hogy elfogadja-e az új értelmezést vagy sem. E modell szerint a tanulás felfogható egy olyan folyamatként, amikor a fogalom értelmezésében bekövetkezik egy váltás a személyes, intuitív tudásról a „korrekt” (tudományosan elfogadott) értelmezésre. Klasszikus példa erre, hogy aki átvált az arisztotelészi fizika szemléletmódjáról a newtonira, vagy a kémiában a folytonos anyagszemléletről a részecskeszemléletre, fogalmi váltást végez.

A fogalmi váltás elmélete a természettudományos oktatásban *Posner és munkatársai* (1982) nevéhez kötődik. Ők Kuhn, Lakatos és Toulmin tudományfilozófiai munkássága alapján párhuzamot véltek felfedezni a természettudományok fejlődése és a tanulási folyamat között. Kuhn elmélete szerint a tudomány fejlődésének normál szakasza során az ismeretek csak halmozódnak, gazdagodás megy végbe, míg a forradalmi szakaszban új elméletek alakulnak ki, az ismeretek kicserélődnek. Posner és kollégái szerint hasonló folyamatok figyelhetők meg az oktatás során is. Ők az oktatásban bekövetkező fogalomgazdagodást *asszimilációnak* nevezték. Ennek során a diákok a meglevő fogalmaikat használják egy új jelenséggel kapcsolatban. A paradigmaváltásnak megfelelő fogalomváltást pedig az *akkomodáció* szóval jelölték. Ez akkor következik be, amikor a diákok meglevő fogalmai nem megfelelőek egy jelenség értelmezéséhez, a megértéshez a régi fogalmat fel kell váltani egy újjal.

Nyilvánvaló tehát, hogy nem minden változás fogalmi váltás. Ha a központi, lényeges, meghatározó fogalmak nem változnak meg, akkor nem fogalmi váltásról, hanem csak fogalmi befogadásról, meggyőződés-változásról beszélhetünk. Ahhoz, hogy bekövetkezzen a fogalmi váltás, a diákok részéről négy feltételnek kell teljesülnie (*Posner és mtsai*, 1982):

- **A meglevő elmélettel elégedetlennek kell lenni.** Azaz nyilvánvalóvá kell váljon, hogy az elmélet további alakíthatósága (asszimilációja) már nem vezet eredményre.
- **Az új elméletnek felfoghatónak kell lennie** (minimálisan megérthetőnek). A régi elképzelésben hívő számára az új elmélet gyakran annyira értelmezhetetlen, az intuícióval ellentétes, hogy ez jelenti a fogalmi váltás legnagyobb gátját. Ekkor jutnak szerephez oktatásunkban az analógiák, metaforák, amelyekkel megpróbálunk jelentést kölcsönözni az új elképzelésnek.
- **Az új elméletnek megbízhatónak kell tűnnie.** Azaz magyaráznia kell a régi elmélettel már megmagyarázott jelenségeket, ugyanakkor

képesnek kell lennie a problémás jelenségek magyarázatára is; illeszkednie kell más tudásegységekhez, a gyakorlati tapasztalatokhoz.

- **Az elméletnek sugallnia kell, hogy további gyümölcsöző kutatás valósítható meg vele.** A benne rejlő potenciál révén más területeken is érhetünk el vele eredményt, a gondolkodásnak, a technika fejlesztésének hasznos eszköze lehet.

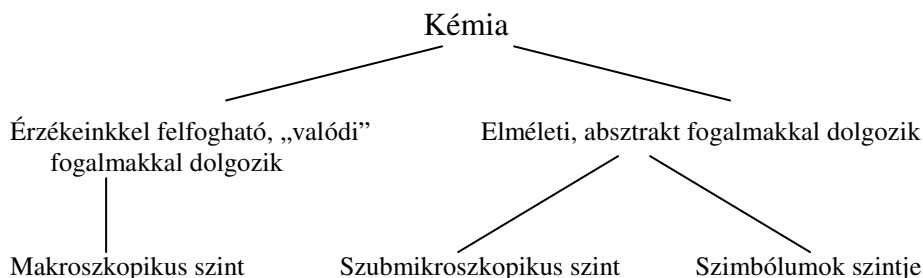
A fogalmi váltás nem megvilágosodásszerűen, hirtelen bekövetkező fogalomcsere, hanem metafogalmi fejlődés eredménye. E folyamat során a tanulók az elképzelésükről már tudatosan gondolkodnak, párhuzamba tudják állítani az egyes elméleteket, tisztában vannak azok erősségeivel, hatáiraival, tudatosan próbálgatják, fejlesztik azok használatát problémák megoldása során. *Tyson és munkatársai (1997)* a fogalmi váltás elméletével kapcsolatban úgy vélik, hogy a tanulás során bekövetkező váltás nem annyira radikális, mint azt kezdetekben feltételezték. A váltás nem hirtelen (revolutionary), hanem fokozatosan (evolutionary) következik be. Nem egyszerűen lecserélődik az adott fogalom, hanem részei változásán keresztül következik be az egész megváltozása, hasonlóan a dialektika törvényében leírt mennyiségi – minőségi változásokhoz. A váltás gyorsaságát és intenzitását az alkalmazott tanítási módszer és a tartalom természete együtt határozza meg. Tapasztalatuk szerint ritka a tökéletes, gyökeres fogalmi váltás. A régi elmélet egyes részei bizonyos kontextusokban túlélnek a változást.

2.6. A fogalmakkal kapcsolatos problémák

Az ugyanazon szóval jelzett fogalmat mindenkinben más összetételű képzethalmaz határozza meg. A fogalmainkat egymással kapcsolatban lévő szubjektív állítások, ítéletek alkotják; olyan információmorzsák, belső mechanizmusunk által generált ötletek, amelyekre ítélethozatalkor támaszkodhatunk. Gondolataink (vélekedések, emlékek, vágyak stb.) is fogalmakból állnak. Az, hogy egy gondolkodónak milyen mentális folyamatai vannak, függ attól, milyen fogalmakkal rendelkezik. A fogalmi gondolkodás valóságélményünk alapját jelenti. Fogalmaink olyan gondolati képzetek, amelyeket szavakkal fejezünk ki, és a világ dolgainak egy csoportjára hivatkoznak. A dolgok időről időre történő felülvizsgálása helyett kategóriákat alkotunk, és aszerint osztályozunk mindent, hogy melyik révén kerülünk kevesebb ellentmondással szembe. Mindennapi életünk során tág fogalomköröket alkotunk, ugyanis a kategóriákba sorolás a mentális biztonság érzését is nyújtja. A tradicionális felfogás a *fogalmat* a *kategória* szinonimájaként használja. *Gelman és Markman (1986, 128.o.)* az élőlényekkel kapcsolatban tapasztalta, hogy „*egyfajta magától értetődőség*

jellemzi azt, ahogyan az emberek hajlamosak osztályozni az élő dolgokat - a biológia tanárok nagy bosszúságára. A 'köznapi biológiában' az emberek és rovarok többnyire nem sorolódnak be az állatok kategóriájába, mert az állatok kategóriáját olyan igazán állatok alkotják, mint a lovak vagy kutyák; és a fák sem tartoznak a növények közé, hiszen sokkal nagyobbak náluk." A kategorizálás, a körülöttünk lévő világ jelenségeinek, egyedeinek osztályozása tehát mentális szükséglet, hogy a körülöttünk lévő világot megérthessük. Ha a világunk olyan jelenségeit akarjuk magyarázni, amelyek kívül esnek a közvetlen érzékelhetőség határain, akkor a kategorizálást megelőzve fogalomépítést végzünk; azaz létrehozunk egy új fogalmat, és azt felruházzuk megfelelő gondolati képzetekkel (Thagard és Toombs, 2005).

A kémia fogalmai olyan nem látható objektumokra hivatkoznak, mint atom, molekula vagy ion. A természettudományok oktatásának kritikus pontja éppen az ilyen nem érzékelhető objektumokra vonatkozó fogalmak kialakítása és fejlesztése. A kategorizálás a kémia esetén tehát több annál, hogy a világot a benne található – megfigyelhető – dolgok tulajdonságainak segítségével felosztjuk; létre kell hoznunk olyan fogalmakat is, amelyek kellően mély magyarázattal szolgálnak ahhoz, hogy a feltételezett láthatatlan egyedek tulajdonságainak segítségével választ adjanak a világ működésére. A kémia nem véletlenül tartozik a legnehezebb tárgyak közé, hiszen fogalmainak nagy része elméleti konstrukció.



A fogalmak természetéről többfajta nézet is létezik. Egyesek szerint (Thagard és Toombs, 2005) a fogalmak példányai reprezentációk, de arról megoszlanak a vélemények, hogy egy adott reprezentációt mi tesz egy bizonyos fogalommá. Az egyik nézet szerint a fogalom olyasmi, mint egy definíció. Az illető fogalommal rendelkezni annyit tesz, mint tudni a definíciót. Egy fogalom definiálását pedig többféle módon végezhetjük el:

- A klasszikus szemlélet értelmében a kategorizálás egy deduktív folyamat: megállapítjuk a szükséges és elegendő feltételeket az illető kategóriába való besoroláshoz. Egy fogalom definiálásához például megadjuk a tulajdonságoknak a szükséges és elégséges feltételeit. Például

háromszög az a síkidom, amelynek éppen három oldala van. Az ilyen röviden megfogalmazható definíció a matematikán kívül igen ritka. *Taber* (2002, 20.o) szerint: „...nagyon sok [kémiai] fogalmunk sokkal komplikáltabb annál, mint amennyire első látásra tűnik. Ez a miatt van, hogy a 'szabályainkat' nagyon körülményesen fejezzük ki. Ennek révén nagyon nehéz egyszerre érthető és precíz definíciót alkotni.” ... „A második nehézség pedig a definíciókban használt nyelvezet. Ez egyszerre két újabb problémát is rejt: néhány tanuló egyáltalán nem tud értelmezni egy bonyolultabb mondatot; másrészt a definíciókban használatos szavak több esetben más fogalmak által meghatározottak, amelyeket szükséges ismerni a helyes értelmezéshez.”

A kémiai fogalmak többségének megadásához több attribútum is szükséges, és ezek az attribútumok egymással logikai kapcsolatban vannak. Ez azt feltételezi, hogy nemcsak magukat az attribútumokat kell ismerniük a tanulóinknak, hanem helyesen kell értelmezniük a köztük lévő kapcsolatokat is. Az új fogalom megalkotásakor nemcsak az összetevők a fontosak, hanem a köztük lévő kapcsolatok is.

- Sok pszichológus, filozófus és kognitív kutató a prototípus szemlélet híve. Ehhez kell egy mintapéldány – a fogalom egy paradigmatisztikus példájának a reprezentációja –, valamint egy hasonlósági metrika, amely meghatározza, milyen közel áll valami a paradigmához. Ez egy induktív folyamat, amelynek lényege, hogy meg kell keresni azon tulajdonságokat, amelyek a legnagyobb egyezést mutatják az objektum és a hozzá legközelebb eső prototípus között. A legjobb egyezés esetén aztán az objektumot az illető prototípusnak megfelelő csoportba soroljuk. Ennek a szemléletnek egyik változata szerint nem a fogalom alapvető jellemzői tárolódnak agyunkban, hanem példák az illető fogalomra. Kognitív pszichológiai vizsgálatok is azt bizonyítják, hogy a minták fontos szerepet töltenek be az agyi hálózatunk működésében. Minél több példa tárolódik elménkben az illető kategóriára, annál nagyobb a valószínűsége, hogy bekövetkezik az azonosítás folyamata, amikor hasonló objektummal kerülünk kapcsolatba. Ebben a megközelítésben ott rejlik, hogy kellő számú mintával kell szembesülnünk, amelyekről tudnunk kell, hogy ugyanazon kategória elemeit jelentik. A hétköznapi kategorizálásunk során ugyanakkor azt szoktuk meg, hogy fogalmaink megalkotásakor nem kell törekednünk a szigorú körülhatárolásra: egy pohárba helyezett virág hatására a poharat inkább nyilvánítjuk vázának, mint ivóedénynek; és attól függően, hogy koncertteremben ülünk, vagy egy költözésnél segítünk, a zongorát hangszernek vagy egy nehéz bútornak nyilváníthatjuk.

A kémia makroszintjének szereplőinél sok esetben pontosan az a probléma, hogy a naiv kategorizálás során nem a tudományos szintnek felelnek meg azok a kategóriák, amelyekbe előzetesen megtörténik a

besorolás. Az ilyen problematikus kémiai fogalmak közé tartozik például a *keverék*, *sűrűség* vagy a *párolgás* (Libarkin, 2003). Ugyanakkor az iskolai oktatás során felbukkanó minták is bonyodalmat okozhatnak, hiszen sokszor ugyanazon fogalom alatt egymástól lényegesen különböző reprezentáns megjelenítéseket tárunk mintaként a diákok elé. Az atom fogalmára az iskolai oktatásban például hat modellt jeleníthetünk meg (Justi és Gilbert, 2000), amelyek lényegükben és kinézetükben is különböznek egymástól.

- A tudományos fogalmak alkotása nem egyszerű tanulási folyamat, és nem lehet egyszerűen a kategorizálás folyamataként leírni. Egy fogalom ismerete többet jelent a tárgyi tudásnál, a tények ismereténél. Értjük alatta azt a tudást is, amely képessé tesz bennünket arra, hogy a fogalom ismeretében a megszokottól eltérő körülmények között is képesek legyünk használni ezt az ismeretet. A fogalom nem csak a példák összessége vagy a tipikus megfigyelhető tulajdonságok halmaza, hanem magyarázó szerepe is van. A fogalmakat azok a következtetések határozzák meg, amelyeket a szóban forgó fogalmat tartalmazó gondolatokból hajlamosak vagyunk levonni. Ahogy a sakk fogalmába beletartozik a figurák, a játékszabályok vagy egy klasszikus megnyitás ismerete; úgy az atom fogalma sem a puszta definíció, hanem magában foglalja az atom fogalmához kapcsolódó egyéb ismereteket is.

2.7. A kémia absztrakciós szintjei

A kutatók számára egyértelmű, hogy a kémia tantárgy vélt „nehézségét” nem a tárggyal kapcsolatos információk mennyisége jelenti elsősorban. Magyar- vagy történelemórán jóval több információ zúdul a diákokra, évszámokban, adatokban, műelemzésekben, mégis az tűnik „könnyebbnek”. Az alapvető probléma, hogy ez az első olyan tantárgy a diákok számára, ahol egy olyan világ fogalmaival kerülnek kapcsolatba, amellyel kapcsolatosan nem hagyatkozhatnak a köznapi tapasztalataikra. A kémia tanulhatóságának és a megértésnek lényege azon alapul, hogy oktatásunkban mennyire vagyunk képesek az elvont kémiai fogalmakat a tanulók mentális szintjének megfelelő módon interpretálni. (Cassels és Johnstone, 1985; Korom és Csapó 1997; Radnóti 2002; Tóth 2001, 2002). A fogalmak tanításának sikertelenségére utal, hogy a kémiai tévképzetek nagyobb részének kialakulásáért az iskolai oktatás és a tankönyvek tehetők felelőssé (Hawkes, 1987; Gabel, 1999; Taber, 2001; Saul és Kikas, 2003; Tóth, 1999; Ludányi, 2007b) nem pedig a tanulók előzetes, naiv ismeretszerzése.

A kémia tanítása lényegét tekintve az atomelméleten alapul, ennek következményeként oktatásunk az anyag leírását három szinten valósítja meg (Johnstone, 2000). Ezek:

- makroszkopikus (a látható, „való” világ jelenségei tartoznak ide)
- szubmikroszkopikus (atomok, molekulák, ionok, elektronok)
- szimbolikus (a képleteket, jelöléseket, egyenleteket, képeket, diagramokat, modelleket értjük e szint egyedei közé).

Kémiaoktatásunk célja, hogy kialakítson egy olyan gondolati, az érzékelhetőségen kívül eső, jeleken, szimbólumokon alapuló struktúrát a diákok kognitív rendszerében, amely aztán lehetővé teszi, hogy tanulóink előrejelzésekbe, magyarázatokba bocsátkozzanak a látható világ folyamatainak értelmezésére. A tanulók értelmező keretrendszere ugyanakkor a hétköznapi fogalmakon alapul. Emiatt nem képesek azonnal értelmezni az indirekt és absztrakt kapcsolatokat az új fogalmak és a velük megjelenő új entitások, illetve a hétköznapi és az órai makroszkopikus világ folyamatai között. Így a diákok tudatában az atomi világ szereplői is a látható és megfogható világ egy csoportját jelentik majd, amelyekre a makroszkopikus világ törvényei analóg módon értelmezhetők. A diákok többsége a kémiáról a köznapi fogalmak értelmezési szintjén képes csak gondolkodni (Saul és Kikas, 2003). Így sok tanuló nem tesz különbséget egy anyag és az ugyanazt alkotó magányos atom tulajdonságai között. A „részecske” szó, amit az atomra, molekulára használunk, nem jelent mást számukra, mint a folytonos anyag egy picinyke darabját (Ben-Zvi, Eylon, és Silberstein, 1986). Ezért gondolják azt a diákok például, hogy az atomok képesek meleg hatására kitágulni (Schmidt, 1997; Mulford és Robinson, 2002; Ludányi, 2006b); vagy hogy a fémek atomjai kemények, míg a folyadékokat alkotóké lágyak (Harrison és Treagust, 1996; Schmidt, 1997); illetve hogy a fény azért nem képes áthatolni egy fémlapon, ellentétben az üveggel, mert a fémbe a molekulák (sic) közelebb vannak egymáshoz, mint az üvegbe (de Possada, 1997). Az új entitásokkal is minden úgy történik, ahogy az a számukra ismert makroszkopikus világban megszokott. Hinton és Nakhleh (1999, 159.o.) tanulmányukban a következőképpen fogalmazzák meg a probléma lényegét: „...míg a hétköznapiak során megszerzett, iskolán kívüli tapasztalataink segítenek a 'való' makroszkopikus világban történő eligazodásban, addig ezek a tapasztalatok az osztályteremben megkérdőjeleződnek. Ha [diákjaink] azt tapasztalják, hogy a kémia három szintjének méretkategóriái különbözőek, különbözőek a rájuk vonatkozó előírások – és csaknem különböző a három szint nyelve is – a lehetséges problémák azonnal érthetővé válnak. A NaCl szimbólum például szubmikroszkopikus szinten egy háromdimenziós rácsot szimbolizál, amelyben felváltva nátriumionok és kloridionok találhatók; ugyanakkor makroszkopikus szinten ez egy fehér vagy színtelen, 58,5 g/mol moláris tömeggel rendelkező kristályos anyagot jelent, míg a való életben az az anyag, ami a bors mellett található az asztalon. További komplikáció, hogy ugyanezt a jelölést egyszerre használjuk a makroszkopikus és a

szubmikroszkopikus szinten is, ahol a kémiai jelentésén túl más algebrai jelentéssel is bír. Mi több, a szimbólumszint teremti kapcsolatot a két másik szint között, ennek következtében a szimbólumszint nyelve valójában két nyelvet olvaszt magába. ... A makroszkopikus, szubmikroszkopikus, és a szimbólum szintű reprezentációk mindegyike más szempontból láttatja a kémiai reakciókat. Amikor a tanuló képes értelmezni és használni egy vagy több reprezentációt, többnyire nem képes kapcsolatot teremteni a többivel.” Nelson (2002) szerint a kémiaoktatásunk problémája onnan eredeztethető, hogy a 60-as évek oktatási reformjai során a hagyományos

makroszint → atomi szint → elektronok, nukleon

oktatási útvonal sorrendjében az utolsó két szintet előrehozták, és oktatásunk során egyszerre próbálunk meg mindhárom szinten előrejutni. *Devetak* (2004) szerint egy másik probléma a kémia oktatásában, hogy az túlságosan is a szimbolikus szintre koncentrál, a másik két szint (makro és szubmikroszkopikus) rovására. Ennek következtében a diákok úgy gondolkodnak a kémiáról, hogy az vegyjelek, képletek, egyenletek tudománya, de az illető egyenletet nem tudják értelmezni a részecskék világában vagy makroszinten. *Bodner és Domin* (1998) ezzel kapcsolatosan úgy látja, hogy a tanár *szimbólumokat* ír fel a táblára, amelyek a fizikai valóságot reprezentálják, ugyanakkor gyakori, hogy a diákok *betűket, számokat és vonalakat* jegyeznek fel, amelyeknek nincs fizikai realitása számukra. Ezzel magyarázható az a diákok általi vélekedés, hogy a brómbenzol molekula nem lehet síkszimmetrikus, mivel a B és r betűk különböznek egymástól (*Bucat*, 2004).

Egy, a kémiában jártas személynek nem jelent gondot a logikai váltás a szintek között, míg ugyanez nem várható el egy, a kémiai tanulmányai kezdetén járó diáktól. A tanórai magyarázat során a tanárok csak ritkán figyelnek arra, hogy felhívják a tanulók figyelmét arra, hogy az illető fogalmat éppen milyen szinten értelmezve használják, hiszen a szövegkörnyezetből ez még nem egyértelmű diákjaink számára (*Gabel*, 1999). Ilyen értelmezési zavart okozhat például a periódusos rendszer jelölésmódja is (*Schmidt*, 1998), hiszen ugyanazon szimbólumhoz egyszerre tüntetik fel a makroszkopikus és a szubmikroszkopikus szinthez tartozó adatokat is.

2.8. Modellek és analógiák

A modellek a természettudomány alapvető termékei. Az elméletek, feltételezések, a természetről alkotott igaz állítások formába öntésére tett próbálkozások, a jelenségek egyfajta értelmezésű interpretálásai. A természettudományok fejlődése tulajdonképpen a modellek fejlődésén keresztül történik. Maga a modell egy dolog, esemény vagy elképzelés megjelenítője, egy eszköz, amelynek segítségével az adott dolog, esemény vagy elképzelés felfoghatóvá, megérthetővé válik. A modell nem szükségszerűen egzakt leírása annak a valóságos rendszernek, amelynek a viselkedését utánozni kívánja. Ezt az állítást erősíti az is, amikor egy adott rendszer viselkedésének leírására többféle modellt is alkalmaznunk kell. Ilyen például a fény, amelynek leírására egyes esetekben a részecske-, máskor a hullámmodell használatos. De ugyanehhez a problémához jutunk az atomban található elektron leírásakor is a Bohr- vagy a kvantummechanikai modell esetén. Ez egyébként azt is mutatja, hogy egyik modell sem írja le tökéletesen a modellezni kívánt jelenséget. Amiből az következik, hogy a modellnek csak néhány, de nem az összes jellemzője hasonlít a modellezni kívánt jelenségre, objektumra. Más szóval a modellek analógiái a valós rendszernek.

A modell szó a kémiában a köznapi értelmezésnél jóval több dolgot jelent. Egyrészt értjük alatta a megszokott gömbcsonk-, pálcika- és egyéb atommodelleket, de ide tartoznak a matematikai modellek – ezek többségében matematikai egyenletek, pl. Boyle-Mariotte törvény, reakcióhő kiszámítása stb. –, amelyek matematikai kifejezések segítségével modellezik egy rendszer változását. Ugyanígy a modellek közé sorolandók a képletek és a reakcióegyenletek is, amelyek szimbolikus módon modellezik a lejátszódó folyamatokat. A modell jelentésébe sorolandók az olyan elméleti modellek, amelyeknek nincs konkrét, kézzel fogható alapja (például foton, erővonalak), de ide tartoznak a folyamatdiagramok és a periódusos rendszer is (Harrison, 2000). Harrison és Treagust (1996) az oktatásban használatos atommodellekről alkotott tanulói elképzeléseket vizsgálták, és tapasztalataik szerint a tanulók az atom nagyított mását látják benne, és nem a modellt. Hasonló eredményt mutatott ki Albanese és Vicentini (1995), akik vizsgálatuk során arra a következtetésre jutottak, hogy az oktatás nem emeli ki az atom modell voltát, sokkal inkább csak mint eszközt szerepelteti az anyag makroszkopikus tulajdonságainak leírására. Ennek következtében a tanulóknak nem az a vélemény rögzül az atomról, hogy az egy modell, amellyel magyarázni kívánjuk, hogy az elemeknek miért jönnek létre olyan tulajdonságai a csoportosulásuk következtében, amelyekkel különben nem rendelkeznének, hanem csak annyi, hogy ez egy nagyon apró rész, amelyre a mikroszkopikus anyag még bontható, és még megőrzi kémiai jellemzőit.

Oktatásunkban gyakran szerepeltetünk párhuzamos modelleket, például az atomra vagy bizonyos fogalmak értelmezésére (például sav-bázis fogalom, oxidáció-redukció). *Bethge és Niedderer* (1996) azt tapasztalták, hogy ha a diákok elé többféle modellt is tárunk, azok közül azt tartják elfogadhatónak, amelyiket leginkább el tudják képzelni a hagyományos értelmezési kereteikkel. *Gilbert, Boulter és Rutherford* (1998) is hasonló eredményre jutott. Tanulmányukban arra hívták fel a figyelmet, hogy a tanulók a természeti jelenségre, fogalomra elsőként adott tanári magyarázatot fogják fel igaznak, a jelenséget ténylegesen leírónak. Amennyiben az oktatás során kimarad egy fontos logikai lépés – a modellek lényegének ismerete –, a későbbiekben, mikor a tanár ugyanarra a jelenségre, fogalomra egy másik magyarázatot ad, fennáll annak a veszélye, hogy ez a diákok számára a természettudományt megbízhatatlan, ellentmondásokkal teli tudományként láttatja. *Harrison és Treagust* (2000) a párhuzamosan használt modellek és analógiák vizsgálatával kapcsolatosan rámutatott arra, hogy a tanulók nem szeretik, ha egy időben többféle modellt, illetve analógiát használ a tanár. Azok a tanulók, akik a redoxi folyamatra több definíciót is ismertek, zavarba jöttek a gyakorlati résznél, hogy melyik modellt használják fel a folyamat azonosítására. Ennek nyilvánvaló következménye, hogy azok a diákok a sikeresebbek a természettudományos fogalmak megértésében, akik képesek egyszerre több analógiát is figyelembe venni, és nem csak egy jól begyakoroltra támaszkodnak. Történtek próbálkozások az oktatásban a párhuzamos atommodellek értelmezéséből származó problémák kiküszöbölésére. Az egyik ilyen, a történeti atommodellek ötvözése egyetlen 'hibrid atommodellé' (*Justi és Gilbert*, 1999, 2000).

2.9. A kémia nyelvezete

A kémia nyelve olyan speciális csoportnyelvnek tekinthető, amelynek tanulása minden gyerek számára előírt. Bizonyos tanulóknál már az is teher, hogy a köznapi és az iskolai oktatás nyelve között különbség van; erre még ráakodik egy külön nehézség: a szakterminológia elsajátítása. A diákok olyan nyelvi kód felhasználására vannak kényszerítve, amelyet korábban soha nem használtak. *Johnstone* (2000) szerint ez a nyelv a tárgyunk szempontjából büszkeségünk, erősségünk, hiszen egyfajta intellektuális kihívást jelent megérteni, ugyanakkor ez a gyenge pontja is a kémiának, mikor arra kerül a sor, hogy megpróbáljuk megtanítani a (kezdő) diákoknak. *Prophet és Towse* (1999) cikkükben megállapítják, hogy egyre nyilvánvalóbb a természettudományok oktatásával foglalkozók számára, hogy a természettudományok taníthatóságának problémái hasonlatosak az idegen nyelvek tanulásának problémáihoz. A kémia fogalmi rendszerének és

szaknyelvének egyidejű elsajátítása óriási feladat egy 7. évfolyamos diák számára. Ez az első olyan tárgy számára, amelynek fogalmi rendszere kívül esik a köznapi élet fogalmain, és a hozzátartozó nyelv szabályai sem mindig következetesek; nem követik azt a logikai sorrendet, amely a köznapi nyelv esetében megszokott. Nagyon sok olyan köznapi kifejezés, fogalom van, amely a kémiában is szerepel, de egészen más jelentéssel használjuk. Ilyen eltérő értelemben használt köznapi fogalmak a csapadék, szóda, kristályvíz, só, nejlón, hidrogénezés stb. Kifejezéseink egy részéről is tudjuk, hogy azok tudományosan nem helytállóak: „erős kávé” kifejezést használjuk, mikor koncentrációról, töménységről beszélünk, vagy „a cukor elolvad a szánkban”-t, ahelyett, hogy annak oldódásáról beszélnénk. *Cassels* és *Johnstone* (1980) arra hívták fel a figyelmet, hogy sok hétköznapi szó, amelyet a tanár magától értetődőnek vesz, és használ az órán, nem csak a tartalma miatt válik nehezen érthetővé a diák számára; hanem mert nem tudja azt értelmezni a kémiai környezetben. A diákok számára nem pusztán a szakszavak jelentése problematikus, hanem az anyanyelv más kontextusba helyezése is. Például az elektrokémiában használt *leválás* szó a köznapi értelmében éppen ellentétes azzal a „rárakódással”, ami bekövetkezik az elektród felületén. Hasonló módon például a „töltéshordozó” kifejezést a tanulók a köznapok fogalmi szintjén értelmezik: a részecske a hátán cipeli az elektront, és aztán ledobja-leadja a megfelelő helyen, és fordul vissza az újabb hordoznivalóért, hasonlóan a „golya viszi a fiát” játékhoz (*Treagust, Duit, Nieswandt*, 2000).

Néhány tanulónk fél válaszolni szóbeli és esszéjellegű feladatokra. *Treagust, Duit* és *Nieswandt*, (2000) tapasztalata szerint a félelem egyik kiváltója, hogy nem tudja értelmezni az új fogalmakat a hagyományos értelmező keretrendszerével, és nem tudja ezt a kémia által használatos szaknyelvi kóddal kifejezni. Az új nyelv elemeinek, szóhasználatának elsajátítása a munkamemória korlátozott mérete miatt nem történhet túl gyorsan, időt kell hagyni a feldolgozásra. Gyakori hiba, hogy ezt a feldolgozásra szánt időt mind a tankönyvek, mind a tanárok rosszul becsülik fel. Nem vezethet eredményre a kezdetektől fogva történő precíz, tudományos nyelvhasználat sem, mert a nyelv és a fogalomalkotás összefüggése miatt ugyanúgy fogódzókat kell biztosítanunk a diákok számára az új nyelv megtanulásához is (*Slisko és Dykstra*, 1997).

Lee (2004) azzal a kihívással szembesíti a pedagógusokat, hogy a tanári mesterséghez is két nyelv ismerete szükségeltetik; az egyik a tudomány nyelve, a másik pedig a diákok nyelvének és kultúrájának megértése. Ez utóbbi ismeret jelentősége ott van, hogy a pedagógus magyarázatával, hasonlataival ne szakadjon el diákjainak aktuális, köznapi világától. Diákjaink sokkal szívesebben élnek hozzájuk jobban kötődő analógiákkal, ezek alkalmazása sokkal szemléltetőbb jellegű. Az ilyen

analógiák keresése, a tanulói kultúra feltérképezése a jó tanár feladatai közé tartozik. *Bucat* (2004) szerint tanárként nem reménykedhetünk abban, hogy tudásunkat egy az egyben átadhatjuk a diákoknak. A tanár feladata tudásának olyan módú átcsomagolása, megjelenítése, amely a lehető legjobb elérési utat biztosítja a tanulói megértéshez. Ehhez többnyire olyan analógiákat, hasonlatokat használunk, amelyek a köznapi élethez kapcsolódnak. *Taber* (2001) ennek kapcsán az oktatói munka egyik potenciális veszélyforrását látja abban, hogy a tanárok szívesen használnak magyarázataikban olyan kifejezéseket, amelyek antropomorf jelleget kölcsönöznek az atomi szint szereplőinek. „Elveszi tőle; elektront akar szerezni; megosztznak rajta stb.”. Más esetben olyan hasonlatokkal élnek, amelyek egyértelműen emberi tulajdonságokhoz kötődnek. Például a Hund-szabály magyarázatát azzal a példával prezentálják, amelyben egy autóbusz kettős üléseit egymást nem ismerő utasokkal töltik fel. Az ilyen magyarázatokra szükségünk van az oktatásban, hogy közérthetővé tegyük az általunk megjeleníteni kívántakat, de vigyázni kell arra, hogy a diákok ne rekedjenek meg azon a szinten, hogy az atomokat, molekulákat szocializált, pszichológiai motiváltsággal jellemezhető egységekként kezeljék. Minden egyszerűsítés és általánosítás, amit használunk, a későbbiekben egy lehetséges gátját jelenti majd az adott fogalom kiterjesztésének. Az antropomorf megközelítés csak a kiindulópontja lehet a magyarázatoknak; ezt követően meg kell ismételni az elhangzottakat anélkül, hogy a részecskéket tulajdonosi jogokkal, emberi tulajdonságokkal ruháznánk fel, szigorúan a szaknyelv elemeit használva fel a magyarázathoz. Hasonló eljárást kell alkalmazni akkor is, mikor (kezdő) diákunk szóhasználatában a köznapi nyelv kifejezései, animizmus vagy teleológiai megfelelések köszönnek vissza. Az általa elmondottakra a tanárnak a tudományos nyelvhasználat jegyében kell reflektálni.

3. A VIZSGÁLAT MÓDSZEREI

A Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Csoportja 2003 májusában és júniusában egy országos méretű, 726 tanuló bevonásával történő komplex, több szempont szerinti – többféle felmérőlapot tartalmazó – felmérést végzett. A felmérésben 17 hat- és nyolcosztályos gimnázium vett részt az ország legkülönbözőbb részeiből (1. sz. melléklet). A vizsgált korosztály a kémia tantárgy szempontjából releváns 7-11. évfolyamos diákok voltak. A vizsgálat hat- és nyolcosztályos gimnazistákra szűkítésének oka, hogy ekkor nincs iskola- és tanárváltás; a kémiai fogalmak fejlődésének folyamatában nincs törés a nyolcadik évfolyam végén.

A tanulói válaszok értelmezéséhez egy 2004-es felmérés tanulói válaszai is felhasználásra kerültek. Ez a felmérés egy gimnázium és egy általános iskola 277 (8-12. évfolyamos) tanulójának bevonásával történt. A vizsgálat kérdőívét a 3. sz. melléklet tartalmazza.

Az országos felmérőlap (2. sz. melléklet) témakörei a következők voltak:

- 1. feladat: Atom, molekula, elemmolekula, vegyületmolekula, ion, kation, anion, egyszerű ion, összetett ion fogalma
- 2-3. feladat: Vegyjel, képlet jelentése
- 4-5. feladat: Az anyagokat alkotó részecskék vizsgálata
- 6. feladat A részecskék töltésének vizsgálata
- 7-8. feladat Az anyag szerveződése

A kiértékelés a hagyományos statisztikai módszerek (SPSS) és a fenomenográfiaival kombinált tudástér-elmélet segítségével történt.

3.1. A hagyományos statisztikai eljárásokhoz használt értékelés

1. feladat

A definíciók kategorizálásának egyik nehézsége az, hogy ugyanazon fogalom (például az atom) nagyon sokféle módon definiálható. Helyesnek kell elfogadni egy tizenegyedik évfolyamos diák demokritoszi atomfogalmát is, annak ellenére, hogy neki már vannak ismeretei a kvantummechanikai atommodellről is. Ennek feloldására a tévképzetkutatás során használatos hatfokú skála szerint történt a tanulói válaszok értékelése (Abraham és mtsai, 1992). E skálázás szerint 0-5 között osztályozódnak a válaszok, a következő táblázat ismeretében:

II. Táblázat A tévképzetkutatás során alkalmazott értékelés

A válasz pontértéke	A megértés szintje	Leírása
0	Nincs válasz	
1	Nincs megértés	A kérdés megismétlése, értelmetlen válasz
2	Tévképzet	A válasz helytelen információt tartalmaz
3	Részleges megértés tévképzetrel	A válaszok jelzik az adott fogalom megértését, de tartalmaznak olyan állításokat is, amelyek tévképzetre utalnak
4	Részleges megértés	A válaszok a helyes válasz elemei közül legalább egyet tartalmaznak, de nem az összeset
5	Teljes megértés	A válaszok a helyes megoldás összes komponensét tartalmazzák

A táblázat tanulmányozásából nyilvánvaló, hogy az így kapott értékek nem esnek minden esetben egybe a hagyományos iskolai osztályzás során használt ötös skála értékeivel.

2. feladat

Ez a feladat a szimbólumok jelentésének ismeretét vizsgálta. E feladatnál is egy hatértékű skála szerint történt a kódolás. Ez a következő volt:

III. táblázat „A szimbólumok értelmezése” feladat értékelése

A válasz pontértéke	H	H ₂	H ⁺
0	Nincs válasz	Nincs válasz	Nincs válasz
1	Értelmetlen, rossz válasz		
2	A válasz nagyon kevés információt tartalmaz, vagy hibás elemek is megjelennek benne		
3	Csak az elem neve (hidrogén)	Hidrogéngáz vagy H ₂ molekula	Hidrogénion vagy proton
4	Hidrogénatom, 1 darab atom	Hidrogénmolekula, 1 darab H ₂ molekula	1 darab hidrogénion, vagy 1 darab proton
5	Kitér mind a makro-, mind a részecskeszintű jelentésekre is		

3. feladat

A feladat a kémiai jelölésrendszert vizsgálta. A következőkről kellett eldönteni, hogy azok az atom, molekula vagy ion kategóriájába sorolhatók-e:



A feladat értékelésénél 5-ös volt a válasz értéke, amennyiben minden jelölést helyesen sorolt be a tanuló, amennyiben kihagyta valamelyiket, vagy rossz anyagot sorolt be, az mind egy-egy ponttal csökkentette a válasz értékét (0 pontig).

4. feladat

A feladat egyes kérdései különböző módokon kerültek feldolgozásra. A korrelációvizsgálathoz az egyes anyagok csoportosításának alapja az volt, hogy a makroszintű anyagokat milyen kémiai összetevő építi fel. E feladatnál is egy hatértékű skálán történt a válasz értékelése (IV.táblázat). Az egy-egy triádot jellemző pontérték az azt alkotó három anyag ismeretére kapott pontok felfelé kerekített átlagából alakult ki.

IV. táblázat „Az anyagot felépítő részecskék” feladat értékelése

A válasz értéke	Atomcsoport	Molekulacsoport	Ioncsoport
	gyémánt, vaskalapács homok	levegő kristálycukor PE zacskó	gipsz konyhasó mészke
0	Nincs válasz		
1	Rossz válasz		
2	köznapi név	atomok	atomok
3	Képlete		
4	A jó válasz elemei tévképzettel		
5	Helyes válasz		

5. feladat

A sóoldat kémiai összetevőinek ismeretét vizsgálja. A kategorizálás fenomenográfiai módszerekkel történt. A részletes értékelések az „Ionkötésű anyagok ismerete” fejezetben kerülnek ismertetésre.

6. feladat

Az atom, molekula, ion töltésének ismeretét vizsgálja.

A három lehetséges válaszelem (+, –, semleges) variációi jelentették az egyes kategóriákat.

8. feladat

Az atom, molekula, ion fogalmát kellett a definíciójában szereplő összetevőkkel párosítani. A teljesen helyes válasz 5 pontot ért. Minden hibásan jelölt, illetve kihagyott helyes jelölés egy-egy ponttal csökkentette a maximálisan elérhető értéket (0 pontig).

A mérőlap jóságára a Cronbach-alfa értéke 0,8982-nak adódott (5. sz. melléklet), ami azt mutatja, hogy a skálát alkotó tételek azonos dolgot mérnek. Mivel a Cronbach-alfa értékét a tételek száma és a tételek között lévő korreláció együtt határozza meg; így kis korreláció esetén is kaphatunk jó reliabilitás értéket, amennyiben kellően nagy a tételek száma. Jelen felmérőlap esetén az egyes tételek közötti korrelációs értékeket és azok szignifikancia szintjét az 7. sz. melléklet tartalmazza.

3.2. A fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet

3.2.1 A fenomenográfia

A fenomenográfia (Marton, 1986) egy vizsgálati módszer („jelenségleíró analízis”), amelynek segítségével feltérképezhetjük azokat a minőségileg különböző utakat, amelyeken a körülöttünk lévő világ jelenségeit észleljük, elképzeljük és megértjük. Az elmélet szerint a tanuló és a környező világ közötti belső kapcsolat egyedi, csak az egyénre jellemző; attól függ, hogy milyen tapasztalatokat szerez a világ jelenségeivel, dolgaival kapcsolatban. A fenomenográfiai vizsgálatok alapvetése az, hogy ugyanazon jelenség, fogalom vagy törvény megértéséhez a tanuló, a tapasztalatot szerző korlátozott számú, egymástól minőségileg különböző utakon juthat el. A fenomenografikus módszer használata esetén kategorizáljuk az adott dologról, fogalomról, jelenségről beérkezett leírásokat úgy, hogy minden egyes kategória tulajdonképpen a leírni kívánt dolognak egy-egy megismerési útját jelentse. Ezek a kategóriák adják a végeredményét a vizsgálatnak. A fenomenográfusok a kategóriák kialakításánál a jelenség felépülésének lényegi, megkülönböztető jegyeit keresik meg úgy, hogy minden egyes kategória egy nagyobb szerkezetnek legyen a része.

A kategóriák kialakításánál a következő szabályokat kell betartani:

- Minden egyes kialakított kategóriának jól átlátható, értelmezhető kapcsolatban kell lennie a vizsgált jelenséggel, ugyanakkor minden egyes kategória a tapasztalatszerzésnek a többi kategóriától elkülönülő módján kell hogy közelítse a jelenséget.
- A kategóriáknak mutatnia kell azt a tudásbővülést, amint az az egyszerűbbtől a komplexebbé váló fogalom, jelenség megismerése esetén történik.
- A kategóriákat a tanulói válaszok elemzéséből és nem a várt (szakértői) megismerési út alapján kell kialakítani!
- A kategorizálással, a kategóriák kialakításával takarékosan kell bánni. Belőlük csak annyi alakítható ki, amennyivel az adott dolog ésszerűen és még kezelhetően leírható.

A fenomenográfiával nyert kategóriák hierarchikus elrendeződése miatt alkalmazható rá a tudástér-elmélet matematikai apparátusa, ezzel megkereshető az illető fogalomra leginkább jellemző felépülés, az azt legjobban leíró Hasse-diagram. Így lehet például az *atom* esetén megkeresni azt a szerkezetet, amely szerint a diákok ennek a fogalomnak a legfontosabb ismérveit egymáshoz rendelik. De a módszer jól használható például arra is,

hogy kimutathassunk a hagyományos statisztikai módszerrel észrevehetetlen, az évek folyamán bekövetkező változásokat a tudásszerkezetben.

3.2.2 A tudástér-elmélet matematikai apparátusának használata

A tudástér-elmélet (*Doignon és Falmagne, 1999; Tóth, 2005*) egy témakör, egy fogalom megértéséhez szükséges ismeretek elsajátításának mikéntjéről ad felvilágosítást. Maga a tudástér egy adott témakör megértéséhez szükséges ismeretek összességét jelenti. A matematikában és a természettudományokban ez általában problémák (feladatok) olyan halmazát jelenti, amelyet a tanulónak ismeretei alapján tudnia kellene megoldani. Ezek között a feladatok között kapcsolat van, egymásra épülnek, feltételezik egymást, hivatkoznak egymásra. Közöttük megállapítható valamilyen hierarchikus rendszer. A tudástér-elmélet alapfeltevése szerint, ha egy tanuló meg tud oldani egy feladatot a hierarchiában, akkor valószínűleg az alatta lévőket is képes megoldani.

A vizsgálat sikerességének alapja a jól összeállított mérőlap; ennek jóságát az adja, hogy a kérdéssor a lehető legtökéletesebben, hierarchikus módon fedje le a vizsgálni kívánt tudásteret; vagyis a kérdéseknek tükröznie kell az adott fogalom, tudásterület struktúráját. A beérkezett tanulói válaszokat dichotóm skálán értékelve minden tanulóhoz hozzárendelhető egy tudásállapot, mely a tanuló által helyesen megoldott problémák összessége. Öt feladatból álló felmérőlap esetén az olyan diák tudásállapota, aki csak az első három feladatot tudta megoldani az $[1,2,3]$ jelölést, aki egyetlen feladattal sem boldogult, az a $[0]$ jelölést, míg az, aki sikerrel oldotta meg az összes feladatot az $[1,2,3,4,5]$ jelölést kapja. Az összes lehetséges variáció száma 2^n (ahol n = itemek száma) képlettel számítható ki. Ezt követően a válaszok csoportosítása következik aszerint, hogy hányan oldották meg csak az első feladatot, hányan csak a másodikat, hányan csak az elsőt és a másodikat stb. Ez bináris formátumban kódolva, *.txt* fájlformátumban vihető be a Potter-féle (*Potter, 2004*) számítógépes programba. Egy három kérdésből álló mérés input fájljának értelmezése látható a 4.ábrán.

Response states: 7 111 1 3 011 5 5 101 5 6 110 6 1 001 13 2 010 12 4 100 81 0 000 42			Az adott állapot bináris kódjának decimális megfelelője: $111_2 = 7_{10}$
			Az adott tudásállapot: azaz akik az 1. és 2. feladatot tudták csupán jól megoldani
			Ennyi tanuló tartózkodik az adott tudásállapotban. Ez például, azt jelenti, hogy 42 tanuló egyáltalán nem boldogult egyetlen feladattal sem.

4. ábra A Potter-féle program input fájljának értelmezése

A Potter-féle program a χ^2 -próbán alapul, és figyelembe veszi az esetlegesen előforduló puskázáson, találgatáson, véletlenül alapuló megoldásokat is. A számítógépes program ezt belekalkulálja az ideális szerkezet megadásába. Mértékét a szakirodalom által a nyílt végű kérdésekre adott válaszok esetén elfogadott 10%-os értékűnek veszi (Taagepera és Nori, 2000; Taagepera és mtsai, 2002; Arasasingham és mtsai, 2004). A program lefutása után a tanulócsoport tudásállapotának megfelelő idealizált értékre az 5. ábrához hasonló outputtal tér vissza.

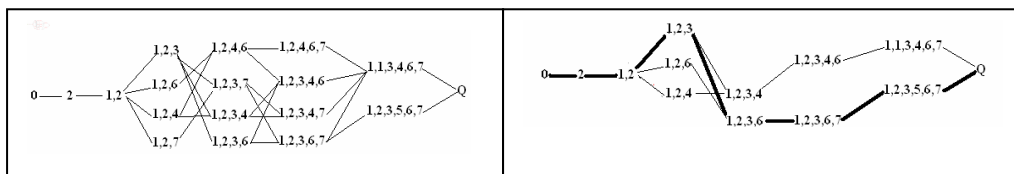
n=8 m=4 Population =165					
Knol.st.	Prob	Pred Pop	Pop	Chi Sq	
0 000	0.33228	54.82676	42	3.00083	
4 100	0.53691	88.59031	81	0.65033	
6 110	0.10529	17.37363	6	7.44573	
7 111	0.02551	4.20930	1	2.4468	
ChisqT(4)= 13.54					

5. ábra A Potter-féle program outputjának értelmezése

A beviteli adatok szisztematikus módosításával – az olyan állapotok elhagyásával, amelyekben kevés tanuló tartózkodik, amelyek nem esnek rá a gráf legnagyobb populációjú útvonalára stb. – ismét lefuttatva a programot megkereshető a legkisebb χ^2 értéket adó szerkezet. Ezzel a meglehetősen időigényes munkával többnyire sikeresen redukálható a tanulói válaszszerkezetgráf egy jóval egyszerűbb, kevesebb állapotot tartalmazó gráfra, amelyet tudásszerkezetnek nevezünk. A tudásszerkezet csak olyan tudásállapotokat tartalmazhat, amelyek a hierarchikus hálóban legalább egy alatta, illetve egy felette lévő tudásállapottal kapcsolatban vannak. Ennek a gráfnak a bonyolultsága, fragmentáltsága, a benne található állapotok száma utal az oktatás sikerességére, arra, hogy mennyire sikerült a tanárnak tematizálnia az oktatási útvonalat.

Egy ilyen gráfegyszerűsödést szemléltet a 6. ábra. Ez egy, a gimnazisták sav-bázis fogalomkörének vizsgálatára készített, hét kérdést tartalmazó feladatsorból nyert gráfokat mutatja be (Ludányi, 2007c). Az első ábra a válaszszerkezetet, a második pedig a belőle számítógépes feldolgozással nyert tudásszerkezetet mutatja be. A gráf egyes elemeit jellemző számok azok, amely feladatokat már sikerrel oldotta meg az ezen az

úton járó diák. (0 az üres tudásállapotot, Q pedig az összes sikeres feladat teljesítését jelenti a gráfban.)



Válaszszervezet

Tudásszerkezet

6. ábra A válaszszervezet és belőle származtatott tudásszerkezet gráfok bonyolultságának összevetése

A tudásszerkezet gráf vastagított ágai jelentik azt az útvonalat, amelyen a csoport többsége felépíti tudását. Ezt nevezzük az illető csoport jellemző tanulási útvonalának („critical learning pathway”). Ez az útvonal a Potter-féle program által, az egyes állapotokra számított várható tanulói létszámból (5. ábra Pred.Pop oszlopa) számolható ki, de külön ennek meghatározására található egy kutatási célra ingyenes program az interneten (Lloyd, 2004).

A jellemző tanulási útvonal meghatározásánál nem ritka, hogy két ugyanolyan jó útvonal adódik, amelyek között csak két szomszédos állapot cseréjében van különbség. Például:

$$\textcircled{1} \Rightarrow \textcircled{2} \Rightarrow \textcircled{3} \Rightarrow \textcircled{4} \Rightarrow \textcircled{5} \Rightarrow \textcircled{6}$$

és $\textcircled{1} \Rightarrow \textcircled{2} \Rightarrow \textcircled{4} \Rightarrow \textcircled{3} \Rightarrow \textcircled{5} \Rightarrow \textcircled{6}$

Ez nagy valószínűséggel arra utal, hogy például a ③ és a ④ feladat ugyanazon a hierarchikus szinten helyezkedik el, és az ⑤ feladat megoldásához ③ és a ④ feladat egyidejű ismerete szükséges. E kettő feladat tehát párhuzamos tudáselemnek minősül. A párhuzamos tudáselemek vizsgálatára hasznos eszköznek bizonyult a matematikában használatos Hasse-diagram.

3.2.3 A tudásszerkezet gráf Hasse-diagrammá alakítása

A gráfok átkonvertálása Hasse-diagrammá többnyire könnyebben értelmezhetővé teszi a fastruktúrát. A Hasse-diagram egy olyan irányított gráf, melyben alul helyezkednek el a legkevesebb tudást igénylő feladatok, majd a nyilak mentén eljuthatunk az ezekre épülő, bonyolultabb feladatokhoz is. Az átalakítás egy manuálisan elvégzett matematikai műveletsorral valósítható meg.

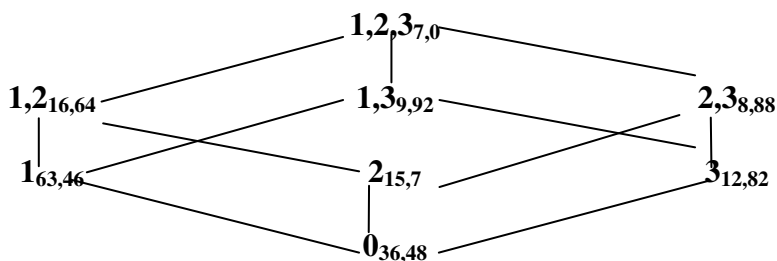
A tudásszerkezetgráftól a Hasse-diagramig vezető út módszertanának megértéséhez tekintsük az alábbi példát:

I, 2, 3 jelentse az atom fogalmát felépítő olyan három egységet, amelyet a tanulói válaszok fenomenografikus elemzésével nyertünk. Az évfolyam 171 tanulója az V. táblázatban található megoszlásban adott választ arra, hogy milyen fogalmi elemeket tart fontosnak az atomfogalom felépülésénél:

V. táblázat Az egyes tudásállapotokban előforduló tanulók megoszlása

Tudásállapotok	A tanulók száma
[1,2,3]	6
[2,3]	8
[1,3]	2
[3]	11
[1,2]	11
[2]	14
[1]	81
Nincs értékelhető megoldás	38

Ennek a megoszlásnak a tudásszerkezetgráfja látható a 7. ábrán. Az egyes állapotok alsó indexei az illető állapotban a Potter-féle program által előre jelzett diáklétszámot jelentik (Pred.Pop.).



7. ábra A Potter-féle program eredményeinek gráfszerkezetben történő ábrázolása

Látható, hogy a legnagyobb létszámú pontokon haladva a

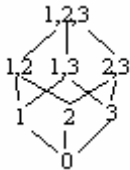
$$0 \rightarrow [1] \rightarrow [1,2] \rightarrow [1,2,3]$$

útvonal adódik. Tehát a legnagyobb diáklétszámok figyelembevételére esetén a fogalom építőinek felépülési sorrendje az, hogy $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$. Azaz először az [1], majd a [2] és végül a [3] elemet tartja fontosnak megemlíteni a legtöbb tanuló. Valójában ennél a 171 fős csoportnál ideális esetben is csak 7 tanuló képes a három elemből építkező fogalom értelmezésére. Sokan (várhatóan 63,46 fő) csupán az [1] számú fogalomalkotó elem értelmezéséig jutnak el.

A tudástér-elméletből származó eredmény ezt a jellemző tanulási utat mutatja meg, de arra nem ad felvilágosítást, hogy a fogalom alkotói milyen kapcsolatban vannak egymással a tanulói kognitív struktúrában. Elképzelhető, hogy a három fogalomalkotó között semmiféle összefüggés nincs, azaz egyik fogalomalkotó elem sem feltételezi egy másik ismeretét. Létezhet olyan tanuló, aki csak egyetlen alkotót ismer a háromból. Ő a válaszában az [1], a [2] vagy a [3] fogalomalkotót szerepelteti. Az a diák, aki két elemet ismer, az a következő variációk egyikét: az [1,2] vagy az [1,3] vagy a [2,3] elemeket említheti meg válaszában. A legsikeresebbek mind a három elemet beleszövik válaszukba, az ő állapotuk leírását jelzi az [1,2,3] jelölés.

A három fogalomalkotó esetén lehetséges tudásállapotokat, az azokból felépíthető gráfot és a neki megfelelő Hasse-diagramot mutatja a VI. táblázat:

VI. táblázat A tudásállapotok, az állapotoknak megfelelő gráf és a gráf Hasse-diagrammal történő ábrázolása

Az állapotok	A gráf	A Hasse-diagram
[1,2,3] [1,2]; [1,3]; [2,3]; [1];[2]; [3]; [0];		① ② ③ Nincs kapcsolat a három elem között

Létezhet a fogalomalkotók között olyan összefüggés is, hogy a [3] elem feltételezi a kettes ismeretét, azaz a [3]-at csak a [2] ismeretében lehet megadni; de sem a [2], sem a [3] fogalomalkotó elem nem függ az [1] elem ismeretétől. Ekkor is létezhet olyan tanuló, aki csak egy elemet ismer. Ő a válaszában csak az [1] vagy a [2] elemet említheti meg, de olyan nem létezhet (ez a tudástér-elmélet egyik alaptétele), hogy a [3] elemet adja meg csupán válaszában. Ekkor ugyanis szerepeltetnie kellett volna a [2] elemet is. Létezhet olyan diák, aki két elemet ismer, ő az [1,2] elemeket említi meg, de nem létezhet olyan, aki az [1,3] elemeket szövi bele válaszába, mert az előbb már említett okok miatt neki a [2] elemet is szerepeltetnie kellett volna a [3] ismeretében. Ugyanakkor olyan kételemű (definíciójában két fogalomalkotót szerepeltető) tanuló létezhet, aki a csak a [2,3] elemeket említi meg. A háromelemű tanuló pedig nyilván az [1,2,3] elemeket szerepelteti válaszában.

A most felvázoltak szerinti állapotokat, az azokból felépíthető gráfot és a neki megfelelő Hasse-diagramot, mutatja a VII. táblázat:

VII. táblázat A tudásállapotok, az állapotnak megfelelő gráf és a gráf Hasse-diagrammal történő ábrázolása

Az állapotok	A gráf	A Hasse-diagram
[1,2,3] [1,2]; [2,3]; [1]; [2]; [0];		Az 1 elem nincs kapcsolatban a másik kettővel, a 3 elem feltételezi a 2 ismeretét (2-re épül a 3 ismerete)

A kiindulásként választott, három építőegységet tartalmazó példa esetén az összes lehetséges variációnak megfelelő Hasse-diagramok a 4. sz. mellékletben találhatók. Annak megválaszolását, hogy e 19 lehetséges variáció melyikéhez áll legközelebb a kérdéses tanulócsoport tudásszerkezeti gráfja (a 7. ábra), a χ^2 próbával lehet eldönteni. A legjobb illeszkedéssel rendelkező Hasse-diagram írja le legjobban az adott tanulócsoport struktúráját. A szakirodalom szerint (Tóth, 2005) a legkisebb χ^2 értékű gráfhoz 10%-on belül eső χ^2 értékű gráfok is helyesen írják le az adott állapotot. A vizsgálatok során egyébként nagyon gyakori eset, hogy egy tanulócsoport tudásszerkezetgráfját csak több Hasse-diagrammal írhatjuk le.

Jelen példa esetén elvégezve az összes lehetséges állapotra a χ^2 -érték meghatározását, a VIII. táblázatban közölt értékek adódnak (az állapotkódok a 4. sz. melléklet jelölését követik):

VIII. táblázat A tanulói tudásszerkezet gráf, és a lehetséges Hasse-diagramok közti illeszkedést leíró χ^2 értékek

Állapot-kódja	A1	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3
χ^2 érték	13,4	6,722	13,85	14,41	12,86	52,44	41,27	7,759	51,94	14,82
Állapot-kódja	D1	D2	D3	E1	E2	E3	E4	E5	E6	
χ^2 érték	16,65	52,51	68,13	11,32	61,59	18,52	64,65	78,13	68,4	

A példaként választott feladat esetén a legkisebb χ^2 értéket eredményező Hasse-diagramnak a B1 kódú adódott. Ez a VII. táblázat példaként elemzett állapotát jelenti. Megállapítható ezek szerint, hogy az V. táblázatban megadott tanulócsoport fogalmi rendszerében a három fogalomalkotó közül az 1 nincs kapcsolatban a többivel, míg a 3 fogalomalkotó a 2-re épül.

Négyenél több item esetén – az exponenciális növekedés miatt – már olyan sok a lehetséges Hasse-digramok száma, hogy szakértői tapasztalat szükséges kiválasztani azokat, amelyekre érdemes elvégezni az imént vázolt időigényes vizsgálatot.

4. AZ ATOMFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK

4.1. Az atomfogalom taníthatóságának problematikája

Az atomfogalom kialakulása a természettudományok lényegét teremtetten meg. A fogalom jelentése ókori gyökereitől kezdve legkevesebb négy változáson ment át, míg elérkezett a modern kvantummechanikai elképzeléshez. *Thagard és Toombs* (2005, 253.o.) ezzel kapcsolatban arra figyelmeztet, hogy „*a modern atomfogalom kifejlesztésére idestova kétezer esztendőnk volt, így hát nincs okunk meglepődni azon, hogy diákjaink nem sajátítják el automatikusan az olyan fontos elméleti fogalmakat, mint az atom, molekula vagy elem*”. Ezt a több mint száz évet átívelő paradigmaváltás-sorozatot akarjuk két-három óra időtartam alatt diákjainkban is végbevenni úgy, hogy fel is tudják fogni annak jelentőségét. *Taber* (2002) arra hívja fel a figyelmet, hogy a kémia tantárgy fogalmainak kialakítása a XX. század első évtizedeiből datálódik, amikor a molekuláris szint vizsgálata még újdonságnak számított, de az oktatásunk módszere, a fogalmak interpretálása nem tudott együtt fejlődni a tudományos ismeretekkel. Az atom jelentésében bekövetkező fogalmi változásokat egy diák nem tudja olyan sebességgel értelmezni, beilleszteni saját kognitív struktúrájába, ahogy az az órán elhangzik. Ennek egyik oka, hogy a tanórai fogalomalkotás egy tudományos kutató szemszögéből történik; elhanyagolva azt a szempontot, hogy a diákok és a tudományos kutatás fogalomalkotása nem esik egybe. A tanulók naiv ismeretrendszere és az ahhoz kapcsolódó feldolgozó apparátus nem készíti őket arra, hogy bevezessenek a világ jelenségeinek magyarázatára olyan fiktív fogalmat, mint az atom. Ennek következtében a fogalom megjelenése ösztönös ellenállást vált ki bennük, hiszen a diákok idegenkednek minden olyan rájuk erőszakolt, kinyilatkoztatott, önkényes hipotézistől, mint amilyen például az atom (*Méheut*, 2004; *Thagard és Toombs*, 2005). *Harrison* (2002) szerint az atom fogalmának és az atommodellek értelmezésének nehézsége a probléma csúcsát jelenti; a probléma gyökere annak a folyamatnak a megalapozásánál keresendő, amely elvezet a részecskeszemlélet kialakulásáig, és megteremti az első tudományos szintű atommodellt, a daltoni elképzelést. Szerinte a részecskeszemlélet megalapozását megteremtő tudománytörténelmi felfedezéseknek, mint a vegyülő gázok térfogati törvénye, egyszeres és többszörös tömegviszonyok törvénye, helye lenne a tananyagban, hogy a diákok ne pusztán kinyilatkoztatásként kezeljék az atomok létét. *Niaz* (1998) valamint *Justi és Gilbert* (2000) kémia tankönyvek történeti atommodellekkel kapcsolatos fejezeteit és ezzel kapcsolatosan a diákok elképzeléseit vizsgálva

jutott arra a következtetésre, hogy a könyvekben szereplő, az atomfogalom változását megalapozó kísérletek pusztá megemlézése nem éri el a kellő hatást. Nem biztosít kellő háttérrel ahhoz, hogy a diákok megértsék a tudomány működését, azon belül azt, miért is volt szükségszerű a fogalom megváltozása. Az egymást követő atommodellek és az azokhoz vezető eredmények egymástól független, megtanulandó fejezeteket jelentenek csupán a diákok számára. Ezzel kapcsolatosan végzett vizsgálatában *Niaz és kollégái* (2002) azt tapasztalták, hogy az a tanulói csoport, amely részletesen tanulmányozta az atommodellek történelmi fejlődését, a változást előidéző kísérletek értelmezését, a váltás tudományos és filozófiai jelentőségét, sikerebb volt a kontrollcsoportnál a kémia további részeiben is. *Griffiths és Preston* (1992) tanulmányukban arra hívták fel a figyelmet, hogy az atom, molekula és ion fogalma a legalapvetőbb és legfontosabb fogalmaink közé tartozik. E fogalmakon alapul kémiaoktatásunk sikeressége. A kémia további taníthatóságát akadályozza, ha ezek a fogalmak nem a tudományos jelentésnek megfelelően alakulnak ki. *Taber* (2001) ugyanakkor az a túlzott atomközpontúság veszélyére figyelmeztet. Világunk ugyanis nem atomokból épül fel elsősorban, hanem ionokból és molekulákból. Az a leegyszerűsítés, hogy „minden anyag atomokból épül fel”, abba az irányba tolja el a diákok gondolkodását, hogy minden esetben az atomokig próbálják lecsupaszítani magyarázatuknál a szubmikroszkópikus szint jelenségeit. Így például a vízmolekula számukra nem önálló entitás, hanem hidrogén- és oxigénatomokból egy időre összekapcsolódó egység. Ezt az elképzelést erősíti az a fajta tanórai magyarázat is, amikor a kémiai reakciókat atomok között játsztatják le, mint például a nátrium és klórgáz vegyülésének értelmezésekor.

A diákok atomról alkotott elképzelése egy meglehetősen sokat vizsgált területe a kémiának. Számos ország kutatói vizsgálták azt, hogy miként rögzül a kémia alapfogalma, hogyan tudják megfogalmazni, lerajzolni a diákok. A vizsgálati eredmények az országtól, a felmérés dátumától függetlenül nagyfokú hasonlóságot mutatnak:

- Német középiskolás diákok fele kvantummechanikai ismereteik ellenére csupán egy gömbként rajzolta le az atomot (*Bethge és Niedderer*, 1996).
- Ugyanerre az eredményre jutott *Harrison és Treagust* (1996) is. Ausztráliai felmérésük szerint a diákok 55%-a csupán egy gömbként értelmezi az atomot, 32%-uk pedig atommagot és körülötte keringő elektronokat rajzol.
- A középiskolai kémiaoktatás végeztével a francia diákok 41%-a gömbként, 48 %-a pedig a bohri értelemben képzei el az atomot (*Cokelez és Dumont*, 2005).

- A 12. évfolyamos kanadai diákok körében elvégzett vizsgálat azt mutatta, hogy közülük sokan kétdimenziós módon, 'kör, aminek közepében pont van'-ként értelmezik az atomot (*Griffiths és Preston, 1992*).
- *Sequeira és Leite (1990)* felmérése alapján például a nyolcadikosoknak 29%-a, a tizedikeseknek 10%-a egyáltalán nem tudott válaszolni arra a kérdésre, hogy mi az atom.
- Az Egyesült Államokban végzett felmérés szerint (*Unal és Zollman, 1999*), a 9-12. évfolyamos diákok alig több mint fele az atomot csak mint építőegységet ismeri, 25%-uk pedig nem tudott vagy nem akart válaszolni az atom leírására vonatkozó kérdésre.

A franciaországi vizsgálatok (*Cokelez és Dumont, 2005, 131.o.*) egyik sommás megállapítása, hogy *"az atom és molekula fogalma túl absztrakt ahhoz, hogy a diákok kapcsolatot tudjanak kiépíteni az atomfogalom és a mindennapi tapasztalataik, fogalmaik között. Az [atomi szintű] fogalmak az absztrakció olyan szintjét követelik meg a tanulóktól, hogy úgy tűnik, erre az egyetemre kerülő diákoknak is alig 50%-a képes csupán."* Az ilyen és ehhez hasonló kijelentések komoly vitát eredményeztek az atomfogalom oktatásban való szükségességéről, bevezetésének időzítéséről. A végletes megoldások egyike ezzel kapcsolatban az, amit az Egyesült Királyság egyik tantervi megoldása képvisel (*Gabel, 1999*): a diákoknak lehetőségük van megválasztani, hogy további [középiskolai] tanulmányaik során kívánnak-e foglalkozni az atomfogalommal, mert attól függően tanulják a kémia tantárgyat csak makro-, vagy atomi-molekuláris szinten is.

A kutatók többsége között vita elsősorban az atomfogalom bevezetésének időpontjában volt. Egyesek szerint (*Wright, 2005*) ezeket a fogalmakat el kell tolni a középiskolás kor végére. Ezt a véleményt erősítették meg az 5-8. évfolyamos szakfelügyelők, akik szerint ezeken az évfolyamokon csak nagyon kevés olyan diák van, aki megérti az atom és molekula fogalmának lényegét. Ausztrália néhány állama követte ezt az elképzelést, és a tanterveikben az atomfogalom bevezetését kitolták a kötelező oktatás végére. *Lee és munkatársai (1993)* véleménye ugyanakkor az volt, hogy a modern oktatási módszerek és az ezeket segítő eszközök kedvező befolyással vannak az oktatási folyamatra. Ennek fényében nyilvánvaló, hogy az olyan fogalmak, mint az atom vagy a molekula nem mutatnak túl egy hatodik évfolyamos diák értelmi szintjén. A magyarországi kutatók véleménye is ezt képviseli (*Radnóti, 2002*). Az *AAAS Project 2061*-ben (2001) már az az ajánlás szerepel, hogy „az atom és molekula fogalom a 6-8. évfolyamon kívánatos, de a szubatomi részekre később kell sort keríteni”.

4.2. Az atomfogalom hazai bevezetése – tankönyvi definíciók

Hazánkban az atomfogalom bevezetéséről, a fogalom kialakításáról a tankönyvek vizsgálatával kaphatunk információt. Joggal feltételezhetjük, hogy a tanárok többsége – a diákokra való tekintettel – nem tér el a könyv által megvalósított módszertani útvonaltól, az ott található definíciótól. Vizsgálatomba 17 egykor és ma használt kémia tankönyvet vontam be. Ezek listáját a 6. sz. melléklet közli.

A tankönyvek vizsgálata alapján általánosságban elmondható, hogy azok kezdetben „*az atom oszthatatlan*”, „*kémiailag oszthatatlan*” típusú definíciót adják. A továbbiakban a fogalom fejlődésének bemutatásán keresztül a tanulóra bízják a fogalom automatikus frissítését. A tankönyvek többsége az atomi szint összefoglalásakor már egy komplexebb, több szinten értelmezett atomdefiníciót is ad.

A vizsgált tankönyvek atomdefiníciói a következő csoportokba sorolhatók (szögletes zárójelek között a 6. sz. mellékletben szereplő tankönyv sorszáma és a hivatkozott oldalszám):

1. A demokritoszi megközelítés

Pl.: „A görögök az ókorban úgy gondolták, minden anyagra jellemző, hogy tovább már nem osztható, parányi részecskékből épül fel... Ezeket a részecskéket nevezték atomnak.” [6, 39. o.]

2. A daltoni elemfogalomból származtatott

Pl.: „A kémiai elemek parányi részecskéit, amelyekből az elemhalmaz felépíthető: atomoknak nevezzük.” [4, 67. o.]

3. A kémiai alapegység típusú megközelítés

a, Pl.: „Az anyagok kémiai módszerekkel tovább már nem bontható egysége az atom.” [8, 15. o.]

b, Pl.: „Atomok a legegyszerűbb olyan kémiai részecskék, amelyek a kémiai változásokban nem alakulnak át.” [7, 8. o.]

4. Az építőegység típusú megközelítés

Pl.: „Mai tudásunk szerint kémiai szempontból az atom a legkisebb önállóan is létező részecske.” [14. 108. o.]

Több tankönyvszerzőt is csábított a klasszikus, filozófiai indíttatású megközelítés az atomfogalom bevezetésére:

„*Tejfölös pohár fedelének alufóliáját apró darabokra tépve vajon a végtelenségig folytatható az aprítás? Nem. Van egy határ. Ekkor egy-egy alumínium atomból áll már minden részecske*” [5, 93. o.] Az atomfogalom efféle bevezetése azzal a veszéllyel jár, hogy a tanuló mindennapi tapasztalatai miatt – logikusan – arra a következtetésre jut: mivel minden

szabdalás után, fémesen csillogó, áramot vezető, hőre táguló foszlányt kap, akkor a végső nem látható alkotó, az alumíniumatom is rendelkezik majd ezekkel a tulajdonságokkal. A 12-13 éves tanulókból hiányzik annak a filozófiai törvénynek belátása, hogy a mennyiségi változások egy idő után minőségi változásba csapnak át. Számukra ez a fajta osztogatás az osztható anyag továbbélését jelenti, azzal a különbséggel, hogy a végső alumíniumfoszlány-részecskét most éppen atomnak nevezzük ebben a tantárgyban.

4.3. Tanulói atomdefiníciók

A tanulói definíciók nagy hányada nem felel meg a definiálás formai követelményeinek. Sok tanuló adott csonka definíciót. Ezekből hiányzik a besoroló fogalom vagy a viszony; sokszor a fogalom neve sem szerepel. Pl.: „*Apró részecske*” vagy „*Minden test atomokból áll össze*” vagy „*A legkisebb anyagi részecske*”. Akiknél a definíció kezdeti bevésődése nem volt tökéletes, azok a szakterminológia hiányában a köznapi szókészletükből származó szavakkal igyekeznek pótolni a hiányzó elemeket. (Az idézet mögötti szám a válaszadó évfolyamát jelöli.):

„*Legkisebb részegység, amit már tovább nem lehet bontani.*” 7.

„*Elemi parány.*” 7.

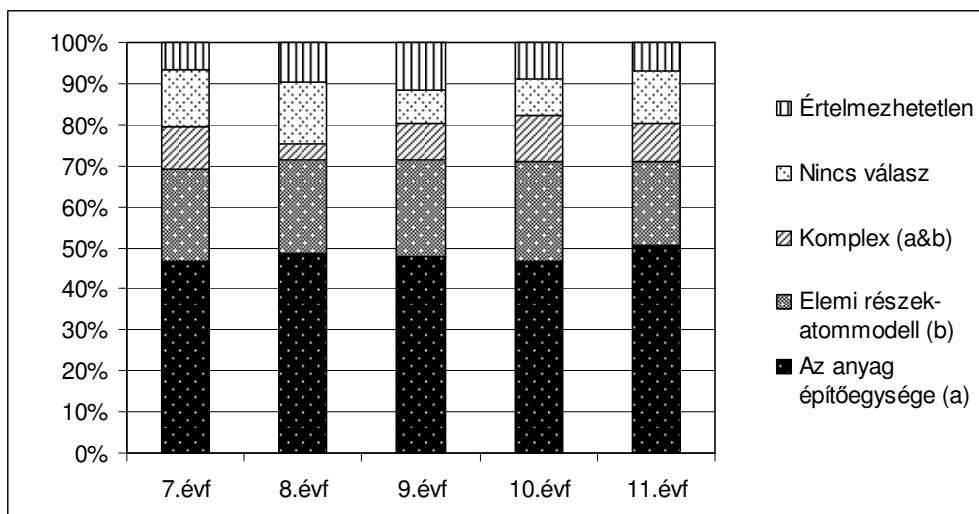
„*A legkisebb alkotóelem.*” 7.

„*Azonos fajtájú részecskék összessége.*” 7.

„*Élőlények parányi eleme, része, az anyag kémiaiilag oszthatatlan része, atomrács is van.*” 8.

„*A világmindenség legkisebb része.*” 8.

Definícióikban a diákok az atomot nemcsak alapegység-építőegységként említették meg, hanem kitértek alkotóira, esetleg az egyik atommodellel azonosították. A válaszokat ezért első megközelítésként úgy kategorizáltam, hogy a tanulói válasz az építőegység, az atomot felépítő elemi részecskék vagy az atommodellel megadott válaszelemet is tartalmazta-e (8. ábra).



8. ábra Az atomdefiníciók tartalmának évfolyamonkénti megoszlása

Láthatóan az atom fogalmára adott definíciók tartalmukat tekintve az évfolyamtól függetlenül gyakorlatilag megegyeznek. Az első évben bevéssett fogalmat a későbbi évek ismeretei sem írják felül. A tanulók fele mindvégig ragaszkodik az oszthatatlan atom definíciójához, de a fogalomról semmit nem tudók és rossz választ adók száma sem csökken a tanévek során. A diákok körülbelül 80%-a többé-kevésbé hiányos, de az atomfogalomra vonatkozó definíciót adott. Gyakorlatilag minden évfolyamon a diákok ~50%-a az anyagok felépítőjeként kezeli az atomot. A tanulók ~30%-a már az atom felépítését is belevonja definíciójába, míg a diákok ~20%-ának egyáltalán nincs az atomról értékelhető elképzelése.

Definíciójukban atommodellt, illetve az alkotókat is szerepeltető tanulók szóhasználatából következtethetünk arra, hogy melyik atommodellt preferálják, melyik szerint gondolják el a felépülését. A *burok*, *felhő*, *kering* szavak inkább a rutherfordi, a *héj* szó a bohri, a *pálya*, *atompálya* szavak pedig a kvantummechanikai megközelítésre utalhatnak.

IX. táblázat A tanulói definíciókban előforduló, atommodellekre utaló szavak évfolyamonkénti megoszlása

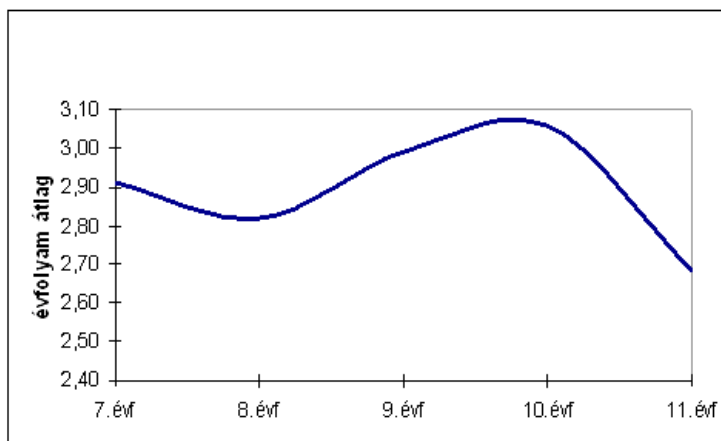
	Rutherford féle atommodell			Bohr féle	Kv.mechanikai	Tanulói létszám
	burok	felhő	kering	héj	pálya	
7. évfolyam	11	10	0	2	0	171
8. évfolyam	8	16	1	3	0	166
9. évfolyam	7	21	1	2	0	136
10. évfolyam	4	15	0	1	0	136
11. évfolyam	1	20	0	0	0	117

Látható, hogy a diákok többsége definíciójában a rutherfordi modellt (pozitív töltésű atommag a körülötte keringő elektronokkal, elektronburokkal) részesíti előnyben, továbbá a 9-11. évfolyamokon már az elvárható kvantummechanikai modell szóhasználata nem jelentkezik.

A bevéso tanulás eredménye lehet, hogy a legkedveltebb – legelőször rögzült – atomdefiníció („Az atom az anyagok legkisebb, oszthatatlan része”) változatlan formában, tömegesen köszön vissza minden évfolyamon. Ugyanígy a mechanikus felidézés sematikusságára vezethető vissza az is, hogy a kémia két különböző szintű atomfogalmának egyesítésével állítanak elő önellentmondásos atomdefiníciót:

[Az atom] „Oszthatatlan részecske, amely atommagból és elektronfelhőből épül fel.”

A tanulói atomdefiníciókat a II. táblázat kritériumrendszerének megfelelően értékelve a 9. ábrán látható, hogy az atom definiálása a 10. évfolyamon (a szerves kémiai tananyagot követően) a legsikeresebb, míg a 11. évfolyam végén (a szerves és az elektrokémia tananyagot követően) a legalacsonyabbra csökken a definíciók színvonala. A hullámváz oka, hogy a 8. és 11. évfolyamon a tévképzetek száma ugrásszerűen megnövekszik. Ezzel párhuzamosan elmaradnak olyan fontos jelzők (pl.: semleges, kémiai), melyek nélkül a definíció nem csak az atomra érvényes. A mindkét évfolyamon történő visszaesés elsődleges oka azonban az, hogy a definíciókban duplájára-másfélszeresére nő az előző évhez képest azok számaránya, akik az amúgy helyes definíciójukban az atomot elemi részecskének nyilvánítják. A skálázás miatt ez két-három egységgel is visszaminősíti az adott válasz értékét, ennek hatása tükröződik az átlagban is.



9. ábra Az atomfogalomra adott tanulói definíciók sikerességének évfolyamonkénti változása

4.4. Az atom fogalmának fenomenográfiai leírása

Az atomfogalom fenomenográfiai leírásával kapott kategóriák megegyeznek az amerikai tapasztalatokkal (Unal és Zollman, 1999). A tanulói válaszok elemzése alapján három lényegi kategória körvonalazódott az atom fogalmára:

4.4.1 A tanulói atomfogalmat leíró fenomenográfiai kategóriák

① Az anyag építőegysége típusú definíció

Ilyen definíció például: „Az atom az anyag legkisebb részecskéje.” vagy „Az anyag kémiaiilag tovább nem osztható részecskéje.”

② Az atom alkotói típusú definíció

Pl.: „Az atom protonból, elektronból és neutronból álló semleges részecske.” Vagy „Az atom atommagból és elektronból álló részecske (az atommagban található a proton és a neutron)”.

③ Az atom modellezése típusú definíció

„Az atomot atommag és elektronfelhő alkotja.” „... az atommag körül keringenek az elektronok” stb.

A diákok nyilván nem csak e három alapdefiníciót adták, hanem bizonyos szabályokat betartva, de ezekből építkezve komplexebb megfogalmazással is éltek. Az értékelhető válaszokat szinte maradéktalanul sikerült a három alaptípusra építve besorolni, ami azt bizonyítja, hogy fenomenográfiai szempontból sikerült megtalálni az ideális kategóriákat. Eszerint a tanulói definíciók hierarchiája a következő módon épül fel:

①②③: építőegység +alkotók + modell

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje, amely protonból, neutronból és elektronból áll, a protonok és neutronok az atommagban helyezkednek el, e körül keringenek az elektronok.

②③: alkotók+modell

Például: Az atomban van atommag, amelyben protonok és neutronok találhatóak, e körül keringenek az elektronok.

①③: építőegység +modell

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje, áll egy atommagból és e körül keringő elektronokból.

①②: építőegység+alkotók

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje, amely protonból, neutronból és elektronból áll.

③: modell

Például: Az atomot az atommag és a körülötte keringő elektronok alkotják.

②: alkotók

Például: Az atom protonból, neutronból és elektronból felépülő egység.

①: építőegység

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje.

A definíciók megoszlását az egyes kategóriák között mutatja a X. táblázat:

X. táblázat A tanulói atomfogalomnak a fenomenográfiai csoportok szerinti megoszlása

	7. évf.	8. évf.	9. évf.	10. évf.	11. évf.
1-2-3 kategória	6	1	7	5	4
2-3 kategória	8	5	7	5	3
1-3 kategória	2	5	6	11	11
3 kategória	11	13	10	2	4
1-2 kategória	11	6	13	11	6
2 kategória	14	12	3	16	5
1 kategória	81	81	66	64	61
nincs válasz	25	24	11	12	15
rossz válasz	13	18	13	10	8
összesen	171	165	136	136	117

A már ismertetett módon minden évfolyamra elvégezve a tudástér feltárását a várható populációértékek segítségével, illetve a hDA (Lloyd, 2004) program lefuttatásával is. Ezek szerint évfolyamonként a lineáris fogalomalkotás – a jellemző tanulási út – lépéseit XI. táblázat tartalmazza.

XI. táblázat A tanulói atomfogalom lineáris felépülési sorrendje

Évfolyam	Az atomdefiníció felépülésének sorrendje
7. évfolyam	1 → 2 → 3
8. évfolyam	1 → 2 → 3
	1 → 3 → 2
9. évfolyam	1 → 2 → 3
10. évfolyam	1 → 2 → 3
	1 → 3 → 2
11. évfolyam	1 → 3 → 2

Az évfolyamonkénti változásból az a következtetés vonható le, hogy a diákok kezdetben a szakértői sorrendet követik (①-②-③). Az atomot elsősorban mint az anyagok építőegységét fogadják el, majd ezután az atom alkotói ② – proton, neutron, elektron – következnek, és a tanulási, megismerési út végére kerül az atommodell ③ ismerete.

Ez a sorrend aztán átmeneti állapotokon keresztül úgy alakul át, hogy 11. évfolyamra az atommodell fontossága meghaladja a definíciókban az atomot alkotó elemi részek fontosságát, és a diákok ezt helyezik előbbre definíciójuk megadásakor.

Tapasztalataink szerint az évfolyamonként feltárt sorrendiség nem univerzális. Az elemzést hasonló korú amerikai diákokra is elvégezve, egészen más jellemző tanulási útvonal adódik (Tóth és Ludányi, 2007a). Ennek oka nagy valószínűséggel a tananyag felépülésének a magyarországitól eltérő sorrendjében keresendő.

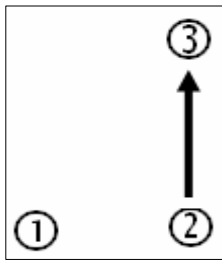
4.4.2 A tanulócsoporthatomfogalommal kapcsolatos jellemző tudásszerkezete

Az évfolyamonkénti definíciók felépüléséről a tudásszerkezetet legjobban leíró Hasse-diagramok megtalálása ad felvilágosítást (XII. táblázat).

XII. táblázat A legjobb illeszkedést adó diagramok évfolyamonkénti megoszlása

	7. évfolyam	8. évfolyam	9. évfolyam	10. évfolyam	11. évfolyam
A FOGALOM FELEPÜLÉSÉT LEÍRÓ HASSE-DIAGRAMMOK			① ② ③		
	③ ↑ ① ②	③ ↑ ① ②	③ ↑ ① ②	③ ↑ ① ②	
		② ↑ ① ③	② ↑ ① ③		② ↑ ① ③
			② ↑ ③ ①	③ ↑ ② ①	
Jelmagyarázat	① Az anyag építőegysége típusú definíció				
	② Az atom alkotói típusú definíció				
	③ Az atom modellezése típusú definíció				

4.4.3 Hogyan értelmezhetjük ezeket a diagramokat?

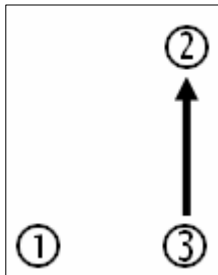


10. ábra Az 1. sz
Hasse-diagram

A tanulmányok kezdetén, a hetedik évfolyamon egyetlen szerkezettel (1. sz. Hasse-diagram) sikerül leírni a tanulók atomdefiniálását. Ebben a tanulók a szakértői utat követik az atom definiálására. Elkülönül egymástól az építőegység-felfogás az atom alkotói és az atom modellként történő fölfogásától. Ugyanakkor az atom alkotóira épül rá az atommodell.

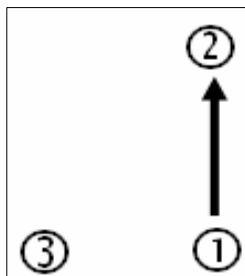
A 7-10. évfolyamig mindig megtalálható ez a szerkezet.

Ez arra utal, hogy ez vésődött be leginkább a diákok memóriájába.



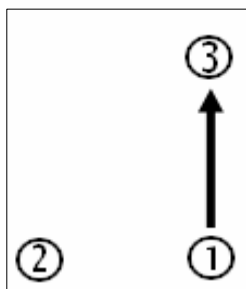
11. ábra A 2. sz
Hasse-diagram

A nyolcadik évfolyamon jelenik meg az a szerkezet is, amelyben a tanulók számára az atommodell válik jelentősebbé, és erre épül rá az atom alkotóiról szóló tudás (2. sz. Hasse-diagram).



12. ábra A 3. sz
Hasse-diagram

A kilencedik évfolyamon jelenik meg az a szerkezet, amikor a modell különül el a másik két összetevőtől, és az építőegység definícióra épül rá az alkotók ismerete (12. ábra).



A tizedik évfolyamra a „klasszikus” (a 10. ábrán jelölt) struktúra mellett megjelenik az a felfogás, amelyben az építőegység típusú felfogásra épül rá az atommodell, elkülönülve az alkotóktól (13. ábra).

13. ábra A 4. sz Hasse-diagram

A tizenegyedik évfolyamra az a szerkezet marad meg (2. sz. Hasse-diagram), amelyben az atommodell kap nagyobb szerepet, és erre épül rá az összetevők ismerete. Ez utóbbi következik abból is, hogy ekkor a szervetlen kémiai tananyagban az atomok vegyértékének ismerete, a vegyületek képletének meghatározása, a gerjesztéssel létrejövő elektronállapotok megállapítása az atom modellként való szerepeltetését feltételezi leginkább.

Az adott évfolyamon megjelenő Hasse-diagramok száma utal arra, hogy mennyire egységes a diákok elképzelése az illető fogalomról. A hetedik évfolyamon tapasztalt egyedüli, a tanár által preferált szerkezetet már a következő évben, a – bővülő ismeretek hatására – felváltják a legkülönbözőbb kapcsolatú struktúrák. Ebből a sokféle szerkezetből következik be aztán egyfajta tisztulás.

A fenomenografikus elemzéssel kombinált tudástér-elmélet módszere láthatóan alkalmasnak bizonyul az atomfogalomban bekövetkező strukturális átrendeződés kimutatására. Felderíthetők vele a kezdeti és a végállapotok közötti átmenetek. Kiderül segítségével, hogy melyik az az évfolyam, ahol a legkülönbözőbb kapcsolatok jellemzik az atomfogalmat, ahol a fogalom a legképlékenyebb. A hagyományos statisztikai módszerek külön-külön nem képesek az ilyen típusú felbontásra.

5. MOLEKULAFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK

5.1. A molekulafogalom taníthatóságának problémái

Az atom és a molekulafogalom tanításánál felmerülő tanulói problémák egy része azonos típusba tartozik. Az atomhoz hasonlóan a tanulók makroszintű tulajdonságokkal ruházzák fel a molekulákat is. Így például a vízmolekula más komponenseket is tartalmaz a hidrogénen és az oxigénen kívül, úgy mint levegőt, klórt, ásványi anyagokat (*Griffiths és Preston, 1992*). A diákok szerint szobahőmérsékleten a klórmolekula gázhalmazállapotú, és ugyanezen tanulmány tapasztalata, hogy a $\text{Cl}_{2(g)}$ jelölés viszont egy sárga színű, kellemetlen szagú *molekulát* jelent a diákok számára (*Ben-Zvi, Eylon és Silberstein, 1988*). A diákok számára alig van különbség az atom és a molekula jelentése között, számukra tetszőlegesen helyettesíthető egyik a másikkal (*Griffiths, 1994, Nicoll, 2001*). Ezzel kapcsolatos *Moje (1997)* azon tapasztalata, hogy a diákok számára a CO képlet egy molekula szén és egy molekula oxigént, míg a Co vegyjel egy magányos kobalt molekulát szimbolizál.

A molekulafogalomhoz kapcsolódva jelenik meg egy újabb probléma, a kémiai kötés értelmezése. A molekulafogalommal kapcsolatos szakirodalom elsősorban az ezzel kapcsolatos kérdésekre koncentrál (*Nicoll, 2001; Taber, 1997; Harrison és Treagust 1996*). A diákok nehezen tudják eldönteni, hogy az egyes anyagokat milyen kötések tartják össze. Ismerik „a két alapvető” kötéstípust, a kovalens és ionkötést, de nem ismerik a kötéstípusok közötti átmenetet, külön kötéstípusként értelmezik a poláris kovalens kötet, a H-kötést, vagy a kötéstípusok közé sorolják például a glikozidos kötet is (*Nicoll, 2001*). Problematikus a diákok számára a részecskék közötti kötés fizikai megvalósulásának értelmezése is. A tanulók többnyire mechanikai analógiákat keresnek a kötés leírására. Kutatók találtak olyan naiv tanulói elképzelést, ahol a kötet gumiszálként fogják fel, mások pedig a két részecske közé ragasztót képzelnek el, amely a meleg hatására lágyul, gyöngül, ami jól modellezi számukra azt, hogy a részecskék a meleg hatására elszakadhatnak egymástól (*Taber, 2001*). *Griffiths és Preston (1992)* szerint az elektromos vonzáson alapuló magyarázat hiánya okozza, hogy a tanulók a kémiai kötet materializálódott fizikai objektumként kezelik, ami „valahogy kívülről került oda”. Magának a kovalens kötésnek az elképzelése, a megosztott, közössé tett elektronpár elrendeződése is gondot jelent, hiszen azokat a szerkezeti képletekben a két atom között szerepeltetjük, aminek

látszólag ellentmond az, hogy ugyanezen elektronpárok útvonalaként nyolcas alakú pályákat szerepeltetünk (Nicoll, 2001). Treagust, Duit és Nieswandt, (2000) szerint egy hetedikes tanulónak vakhítre van leginkább szüksége, hogy elhiggye: két, különben egymást is taszító részecske össze tud „ragasztani” két atomot. Van Hoeve-Brouwer (1996, 144. o.) pedig ennek kapcsán visszautasítja azt az állítást, hogy „az atomszerkezet egy működőképes kiindulási pont a kémiai kötés tanításában”. Szerinte „az atomszerkezet alkalmatlan alap a kémiai kötés tanítására a középiskolákban, mivel van egy [ezen az oktatási szinten] magyarázhatatlan hézag a szabad és a kötésben lévő atomok között”.

5.2. Tankönyvi definíciók

A tankönyvek vizsgálatából az derült ki, hogy a szerzők osztják az imént felvázolt problémákat, és tíz százalékukban a molekulafogalom nem jelenik meg az első év során. Az ilyen típusú tananyag-felépítés a makroszintű ismeretek kialakítására, rendszerezésére koncentrál az első évben.

Ahol megjelenik a molekulafogalom, ott ennek két útját követik. Az első csoport (I.) esetében a hangsúly az atomokból keletkező új részecskére, míg a második csoportban (II.) az atomokat összekötő kovalens kötésre helyeződik.

I. „A molekula mint az atomok kapcsolódása” csoport

A, KÖTÉS NÉLKÜL

Ennek során az atomfogalomból eredeztetik a molekulafogalmat úgy, hogy a definícióban nem térnek ki konkrétan a molekulákat összetartó erőre.

Például:

- „A molekulák meghatározott számú atom összekapcsolódásával keletkező anyagi részecskék.” [6, 60. o.]
- „A molekula összetett kémiai részecske, amely meghatározott számú és minőségű atomból keletkezik.” [2, 105. o.]
- „A molekula két vagy több atom összekapcsolódásával képződő apró részecske.” [14, 72. o.]

B, KÖTÉSRE VALÓ UTALÁSSAL

A definícióban nem konkretizálják, de felhívják a figyelmet a kötőerőkre.

- „A molekulát kémiai kötőerők által összekapcsolt atomok alkotják.” [13, 29. o.]
- „A molekulák olyan parányi részecskék, melyeket meghatározott számú és minőségű atom épít fel és meghatározott alakkal rendelkeznek. A molekulán belül az atomokat kémiai kötőerők tartják össze. A molekulákat kémiai módszerrel tovább bonthatjuk atomokra.” [9, 16. o.]

II, „A kovalens kötés molekulát eredményez” csoport

Például:

- „A közös elektronpárok kialakításával létrejött kémiai kötést kovalens kötésnek nevezzük. Kovalens kötéssel új kémiai részecske, molekula keletkezik.” [1, 100. o.]
- „Az olyan kémiai kötést, amelyben az atomokat közös elektronpár köti össze, kovalens kötésnek, a közös elektronpárt kötő elektronpárnak nevezzük. Amikor kovalens kötés jön létre az atomokból általában molekula keletkezik.” [1, 124. o.]

5.3. Tanulói definíciók

A tanulói definíciók hibái és a tankönyvi, tanári definíciók hangsúlyeltolódásai között párhuzam vonható. A diákok definícióiban három tipikus hibacsoport különíthető el:

„Az atomok összeálltak molekulává” elképzelés

A molekulákat mint atomok csoportosulását tekintik. Nem hangsúlyozzák a kötőerőt. Az ilyen definíciókban asszociátumszerű elképzelésként jelenik meg a molekula.

Például:

- „Összetett [összerakott, egymáshoz illesztett] atomok” 8.
- „Több azonos vagy különböző atom társulásával létrejött atomcsoport” 10.
- „Több atomból álló egység” 11.
- „Atomcsoport. Több atommagot tartalmaz” 10.
- „Különböző atomokból felépülő atomhalmaz” 11.

A kötés materializálódása, túlhangsúlyozása

A csoport tagjai a kovalens kötés létrehozására fókuszálnak. A molekula több esetben csak eszköznek tűnik a kovalens kötés eléréséhez. Sokan külön emlegetik a kötést, mint a modellkészletbeli pálcika fogalmi megtestesülését. Például:

„Elektronpárok kapcsolódása” 7.

„Molekula az a kémiai kötés, melyben atomok kapcsolódnak kovalens kötéssel” 8.

„Atomokból és kovalens kötésekkel állnak” 8.

„A molekula két atom közötti kovalens kötés. A molekula is vegyjellel ellátott” 8.

A kémiai kötés félreértelmezése

A tankönyvi molekulafogalomban a molekulát összetartó erőkre vonatkozó „kémiai kötőerők” megfogalmazás kellően általános ahhoz, hogy definícióikban a diákok a kémiai kötések gyakorlatilag minden fajtáját megemlítsék.

Például:

„Atomok összessége, amelyben másodlagos kötések segítik az elemek összekapcsolódását” 10.

„Az atomok különféle kötésekkel (kovalens kötés, hidrogén kötés) kapcsolódnak össze és molekulát alkotnak” 9.

„Több atom kovalens vagy ionos kötéssel való kapcsolódásakor létrejövő atomhalmaz” 9.

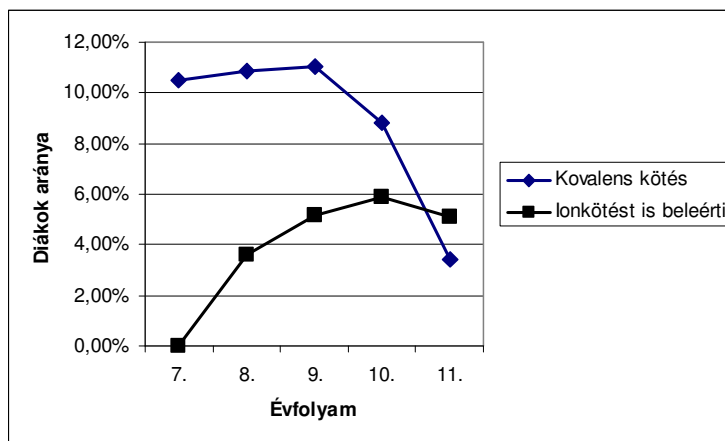
A kovalens kötés többnyire nem jelenik meg hangsúlyozottan a tanulói válaszokban. A XIII. táblázat a tanulói definíciókban megemlített kötések mutatja.

XIII. táblázat A molekulán belüli kötések említésének megoszlása a tanulói definíciókban

	Kovalens kötés	Ionkötés	II.rendű	„Kötéssel”	Kémiai kötés, I.rendű kötés
7. évfolyam	18 (10,5%)	0	0	4 (2,3%)	0
8. évfolyam	18 (10,8%)	3 (1,8%)	0	4 (2,4%)	3 (1,8%)
9. évfolyam	15 (11%)	4 (2,9%)	2 (1,4%)	11 (8,1%)	3 (2,2%)
10. évfolyam	12 (8,8%)	3 (2,2%)	3 (2,2%)	3 (2,2%)	5 (3,7%)
11. évfolyam	4 (3,4%)	2 (1,7%)	1 (0,8%)	2 (1,7%)	4 (3,4%)

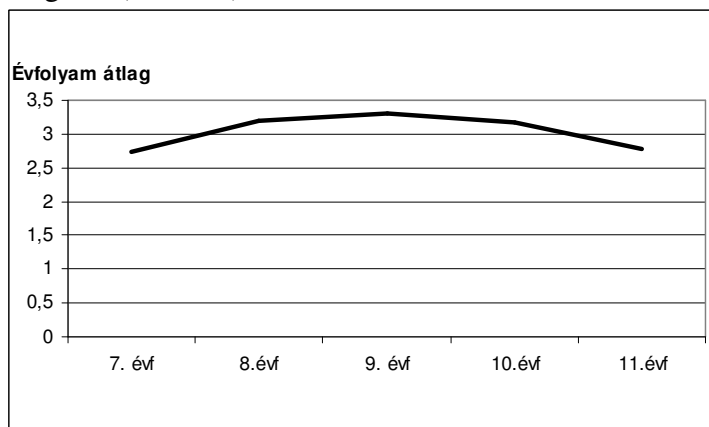
Az évek során a kovalens kötés megemlítése veszít a fontosságából a molekula definiálásánál. Kilencedik évfolyamtól egyértelműen kimutatható a kovalens kötés térvesztése az ion- és minden más kötéstípus megerősödése

mellett. Gyakori, hogy a tanulók az ionkötést és a kovalens kötést együtt említik meg, mint a molekulákban található kötéstípust. Amennyiben azokat a tanulókat, akik kémiai kötést, illetve I. rendű kémiai kötést említene a molekulában, hozzászámoljuk az ionkötést említőkhöz és ábrázoljuk a számarányukat, a 14. ábrán látható grafikont kapjuk:



14. ábra A molekulán belüli kötést csak kovalens kötésként értelmezi, vagy az ionkötést is beleérti

A molekulafogalom definícióinak évfolyamonkénti sikerességét mutatja a következő diagram (15. ábra):



15. ábra A molekula definíciójának helyessége a tévképzetkutatásban használatos hatos skála értékelésének megfelelően

5.4. A molekulafogalom fenomenografikus elemzése

A diákok válaszait fenomenografikus módszerrel feldolgozva a következő kategóriák adódtak:

5.4.1 A tanulói molekulafogalmat leíró fenomenográfiai kategóriák

- ① A molekula egy (bontható, összetett) részecske
- ② A molekulát atomok alkotják
- ③ A molekulát (kovalens) kötés tartja össze

Példák a tanulói válaszokból az egyes kategóriákra:

① kategória

„Összetett kémiai részecske.” 7.

„Parányi, apró részecske. Annyira aprók, hogy szabad szemmel nem is láthatjuk, csak mikroszkóppal.” 7.

② kategória

„Több atomból áll.” 8.

„Atomokra bomlik el” 10.

③ kategória

„Kovalens kötéssel kapcsolódnak össze” 10.

„Kötés által létrehozott részecske.” 11.

„Kovalens kötés végeredménye. Töltése semleges” 9.

①② kategória

„Több atomból álló kémia részecske” 8.

„Több atom összekapcsolódásával létrejövő, összetett kémiai részecske (semleges)” 11.

①③ kategória

„Kötés által létrehozott részecske” 7.

„2 vagy több anyag kapcsolata, amelyet kovalens kötés tart össze” 8.

②③ kategória

„Az atomok között kialakult kovalens kötések hozzák létre” 7.

„Két vagy több azonos vagy különböző kémia minőségű atom összekapcsolódásakor jön létre. Az összetartó erő kovalens vagy másodrendű kötés lehet” 11.

①②③ kategória

„Atomok összekapcsolódásával kialakuló kémiai egység” 10.

„Több atomból álló kémia részecske, melyben az atomokat egymáshoz kötések húzzák” 9.

A kategóriák évfolyamonkénti megoszlása a XIV. táblázatban látható.

XIV. táblázat A tanulói molekulafogalom fenomenográfiai csoportok szerinti megoszlása évfolyamonként

ÁLLAPOTOK	7. évf.	8. évf.	9. évf.	10. évf.	11. évf
0	54	34	20	26	35
1	10	11	19	12	6
2	15	20	20	31	25
3	2	1	2	2	0
12	34	30	13	22	9
13	1	1	0	0	0
23	43	51	43	32	35
123	12	17	18	11	7

A jellemző tanulási útra minden évfolyamra ugyanaz az útvonal adódott, ami azt mutatja, hogy a fogalom szerkezetében nem történik változás az évek során.

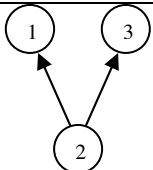
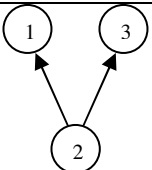
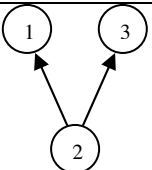
A jellemző tanulási útvonalként a



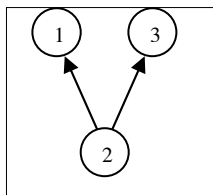
sorrend adódott. Eszerint a diákok a molekula fogalmának meghatározásakor minden évfolyamon „a molekulát atomok alkotják $\rightarrow$ az atomok között kovalens kötés található $\rightarrow$ maga a molekula is egyetlen kémiai részecskének tekinthető” logikai sorrendet követik.

Az évfolyamonkénti definíciók felépüléséről a tudásszerkezetet legjobban leíró Hasse-diagramok megtalálása ad felvilágosítást (XV. táblázat).

XV. táblázat Az évfolyamonkénti tanulói tudásszerkezet gráfokat legjobban leíró Hasse-diagramok

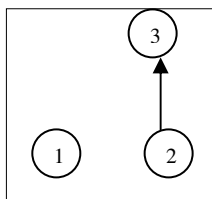
	7. évfolyam	8. évfolyam	9. évfolyam	10. évfolyam	11. évfolyam
A legjobb Hasse-diagramok					
					
Jelmagyarázat:	① A molekula egy (bontható, összetett) részecske ② A molekulát atomok alkotják ③ A molekulát kovalens kötés tartja össze				

Látható, hogy az atomfogalomhoz képest csak nagyon csekély változás következik be a fogalom felépülésében az egyes évfolyamokon.



16. ábra 1. sz
Hasse-diagram

Első évben a molekula felépülésénél központi szerepet játszanak az atomok (1. sz. Hasse-diagram). A molekula olyan részecske, amely atomokból épül fel (②→①) illetve a molekulát kovalens kötés által összetartott atomok alkotják (②→③). Valamint a két válasz kombinációjából adódó „A molekula olyan kémiai részecske, amely kovalens kötés által összetartott atomokból áll”. Ezek tulajdonképpen a tanárok és a tankönyvek által leginkább preferált definíciók. Az első évben a diákok igazán csak ezeket választják.



17. ábra 2.sz
Hasse-diagram

A 8. évfolyamtól megkezdődik a hivatalos definícióktól való eltávolodás. A diákok számára az atom mint a molekula alkotója kezd kisebb szerepet betölteni (2. sz. Hasse-diagram). A diákok egy része számára a molekula is csupán egy atomi világban előforduló részecskévé válik ①. Ezt ilyen válaszok jellemzik: „Összetett kémiai részecske”, „A molekula az atomtól nagyobb egység”, „A második legkisebb kémiai elem”.

Ez a diagramban oly módon jelenik meg, hogy „a molekula egy részecske” típusú elem elkülönül a többitől. Nem lesz kapcsolata a másik két elemmel. Ugyanakkor megmarad a „molekulát kovalens kötés által

összetartott atomok alkotják” (②→③) definíció is. Ez a 9. és a 10. évfolyamra jellemző.

A 11. évfolyamon a diákok ismét visszatérnek az atomos szemlélethez, azaz a választ adó tanulók többsége a legtöbb definícióban ismét szerepelteti az atomfogalmat.

6. IONFOGALOMMAL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK

Az ion fogalmának megértése egy kémia tanulmányainak kezdetén lévő és az elektrosztatikus töltés fogalmával még hivatalosan nem találkozó diák számára komoly kihívás. *Butt* és *Smith* (1987) 12 éves tanulók körében végzett vizsgálata feltárta, hogy néhány tanuló a nátrium- és a klóratomok között kovalens kötést feltételez, és ezeket a „NaCl molekulákat” tartja össze a rácsban ionkötés, de ugyanezt tapasztalta *Nicoll* (2001) végzős középiskolai tanulók közötti felmérése során. *Barker* (2000) azt kérte a diákoktól, hogy írják le, mi történik a klórgáz és az izzó nátrium között. A diákok csak 20 százaléka utalt válaszában a kialakuló (ion)kötésre, ehhez hasonló módon: „az elektron átment a nátriumtól a klórhoz, egy stabil vegyületet képezve”. 54 százaléku egyszerűen csak annyit tudott a folyamatról, hogy a nátrium és a klór reagál egymással.

Taber (2002) az ionkötés diákok általi téves értelmezésének egyik magyarázatát abban látja, hogy a kovalens kötést az ionkötés előtt tanulják. Ennek során akaratlanul is összehasonlítják az elektronátmenetet az elektronok közös használatával, mint egy lehetséges módozatot az elektronoktett elérésére. Természetes, hogy az először megismert kovalens kötés befolyással van az ionkötés magyarázatának tanulói értelmezésére. Különösképpen a molekulák képződése gyakorol erős hatást tanulóink szemléletmódjára. A kovalens kötésnél a vegyértékelektronok mennyisége a meghatározó a létrejövő kötések számában, ennek következtében a tanulók arra asszociálnak – hasonlóan a kovalens kötés vegyérték fogalmához –, hogy az átadott és felvett elektronok számának megfelelő ionkötést képesek csupán az ionok kialakítani. Ennek a következménye, hogy a NaCl-ban csupán egy ionkötést tételeznek fel a tanulók. Ezért is nyilvánítják gyakran ionkötéssel létrejövő bináris molekulának a NaCl-t.

A gondolatmenetből következik az a tanulók által adott válasz is (*Taber*, 2002), hogy a nátriumion a rácsban nem képes 6 ionkötés kialakítására, mivel ehhez 6+ töltésre lenne szüksége. Az értelmezési probléma egyik kiváltója az lehet, hogy az ionkötés fizikai alapja, az elektrosztatikus vonzásról szóló tudás hiányzik diákokból. Ha a diákok az ionkötést fizikai nézőpontból közelítenék meg, nem kellene külön magyarázatokba bocsátkozni arról, hogy miképpen vonzhatja egy nátriumion egyszerre az öt körülvevő hat ellenkező töltésű aniont, és nem csak azt az egyet, amellyel éppen elektronátadás történt.

6.1. Tankönyvi definíciók

A vizsgálatba bevont tankönyvek negyede nem vezeti be az ionfogalmat az első kémiai év során. Ez nagyobb arányú annál, amit a molekulafogalom esetén tapasztaltam.

A fogalom bevezetése többnyire a NaCl szerkezetének tárgyalásán keresztül történik. Ekkor a tankönyvszerzők két irányt választanak a fogalom felépítésére. Az egyik megközelítés során az ionizációs folyamat ismertetése után történik meg az (egyszerű) ion fogalmának bevezetése. A másik megközelítési mód szerint pedig az ion az atomi világ egyik szereplőjeként, mint töltéssel rendelkező kémiai részecske jelenik meg, és csak a későbbiekben kerül sor az ion keletkezésének magyarázatára.

A definíciók ennek következtében két csoportra oszthatóak.

I. Az iont kémiai részecskéként kezelő csoport

Például:

- „Az elektromos (pozitív vagy negatív) töltéssel bíró kémiai részecskéket ionoknak nevezzük.” [6, 77. o.]
- „Az ionok elektromos töltéssel rendelkező kémiai részecskék.” [1, 90. o.]

II. Az iont keletkezésével eredeztető csoport

Például:

- „Az atomokból elektronleadással vagy elektronfelvétellel keletkező, töltéssel rendelkező részecskéket ionoknak nevezzük. Az ionokban a protonok és elektronok száma nem egyezik meg...” [4, 113.o.]
- „Az atomokból elektronleadással vagy elektronfelvétellel pozitív vagy negatív töltésű ionok jönnek létre.” [10. 116.o.]

Előfordul olyan tankönyvi megközelítés is, hogy bár az ionképződés folyamata ismertetésre kerül, de erre az ismeretre történő hivatkozás nem jelenik meg az ion definíciójában.

A tankönyvek definíciói között találhatók olyanok, amelyek jósága, egyértelműsége kétségeket hagy maga után.

Például:

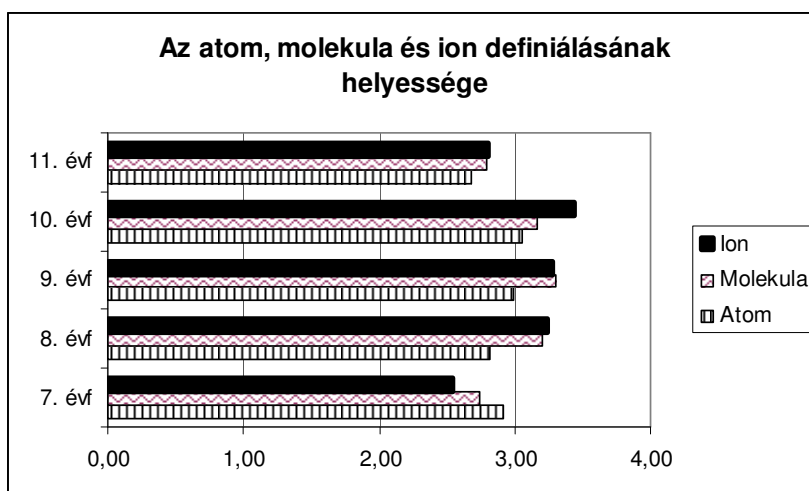
- „Az ionok elektromos töltéssel rendelkező anyagi részecskék.” [11, 29. o.]

- „Az elektromos töltéssel rendelkező részecskéket ionoknak nevezzük.” [10, 109. o.]

Ezek a hibás egyszerűsítések, lecsupaszítások gyakran a diákok definícióiban is megjelennek.

6.2. Tanulói definíciók

Összehasonlítva a három fogalomra (atom, molekula, ion) adott definíciók helyességét évfolyamonként, látható, hogy az ionfogalom az egyik legsikeresebb fogalomnak minősíthető a diákok esetén (18. ábra). Csak a hetedik évfolyamon marad el az atom, illetve a molekula definiálásának jóságától. Ennek egyik oka lehet, hogy némely iskolában hetedik évfolyamon még nem jelenik meg az ion- és a molekulafogalom.



18. ábra Az atom, a molekula és az ion definiálásának helyessége évfolyamonként

A tanulói definíciók hibái és a tankönyvi, tanári definíciók hangsúlyeltolódásai között itt is párhuzam van. A tanulói definíciók hibái három fő kategóriába voltak sorolhatók.

Ezek:

„Az ion maga az elektromos töltöttség” csoport

A definícióból az derül ki, hogy az ion részecskejellege elvész a töltés fontossága miatt. A diákok közül sokan ion alatt csak a vegyjel/képlet sarkában megjelenített töltésjelet értik.

Példák:

„Az adott anyag töltése” 8.

„Egy elem / vegyület töltését nevezzük ionnak” 10.

„Az elemek, molekulák töltését adja, hogy negatív vagy pozitív” 11.

Hiányos definíciójú csoport

A csoportba tartozó tanulók egy igen egyszerű definíciót használnak, amelyből a kémiai kifejezés kimaradása miatt a definíció mindenféle töltött testre, például elektronra is értelmezhető.

Példák:

„Töltéssel rendelkező részecske” 7-11.

„Olyan anyag aminek töltése van” 9.

„Töltéssel rendelkező elemi részecske” 7-11.

Protonfelvétel-leadás problémájú csoport

A csoport tagjai a definiálás logikai menetében megtartják az egyszerű ionok definiálására vonatkozó keretmondatot, de kiterjesztik azt a sav-bázis folyamatok protonálódási folyamata során keletkező ionokra is. Ekkor az elektron mellé vagy helyett a protont is beemelik a definícióba. Ugyanez visszafelé is megtörténik, azaz molekulák által történő elektronfelvételt és leadást is szerepeltetik a definíciókban.

Például:

„Atomokból, molekulákból p^+ felvételével, vagy e^- leadásával jön létre” 11.

„Atomokból és molekulákból p^+ felvételével és leadásával keletkezik” 8.

„Atomokból keletkezik elektron vagy proton leadásával vagy felvételével” 10.

6.3. Az ionfogalom fenomenográfiai vizsgálata

A fenomenográfiai elemzés során azt vizsgáltam, hogy milyen lényegi elemeket szerepeltetnek a diákok az ion definíciójának megadásakor.

6.3.1 A tanulói ionfogalmat leíró fenomenográfiai kategóriák

A definíció megalkotásához a tanulók három fő jellemzőt vettek figyelembe:

- ① Az ion egy (kémiai) részecske.
- ② Az ion töltéssel rendelkezik.
- ③ Az ion keletkezése, ionkötés létrejötte

Példák a tanulói válaszokból az egyes kategóriákra:

① típusú tanulói definíció:

„Részecske”

„Kémiai részecske”

„Atomokból létrejövő részecske”.

② típusú tanulói definíció:

„Az adott anyag töltése”

„Megmutatja, hogy az egyes elemeknek milyen töltésük van.”

„Töltéssel rendelkezik.”

„Lehet pozitív és negatív töltésű is.”

③ típusú tanulói definíció:

„Proton leadásával vagy felvételével ionok keletkeznek.”

„Elektron vagy proton leadásával jön létre.”

„Az ellentétes töltésű atomokat az elektromos vonzás tartja össze pl.: Cl^- , Mg^{2+} ”.

①② típusú tanulói definíció:

„Töltéssel rendelkező részecske.”

„Olyan kémiai részecske, amelynek elektronjainak vagy protonjainak száma megváltozott”.

①③ típusú tanulói definíció:

„Olyan kémiai egység, mely az atomból elektronok hozzáadásával vagy elvételével képződik, ez általában nem stabil állapot.”

„Elektron leadással vagy felvételével képezhetjük atomból.”

②③ típusú tanulói definíció:

„ e^- leadással vagy felvétellel keletkezett töltéssel rendelkező”

„Negatív és pozitív töltésű is lehet, amelyek az ionrács rácspontjaiban helyezkednek el”.

①②③ típusú tanulói definíció:

„Atomból vagy molekulából töltéselvonással keletkező pozitív vagy negatív töltésű részecske”

„Elektron leadásával vagy felvételével keletkező, töltéssel rendelkező részecske”.

A tudástér-elméletet alkalmazva az évfolyamonkénti megoszlásokra a következő, a XVI. táblázat szerinti jellemző tanulási utak adódtak:

XVI. táblázat A tanulói ionfogalomra jellemző tanulási útvonalak

Évfolyam	Jellemző tanulási útvonal
7.	① → ② → ③
8.-9.-10.-11.	② → ① → ③

Ez azt jelenti, hogy nyolcadik évfolyamon átrendeződik a fogalom felépülése. Megváltozik a fogalmat meghatározó elemek fontossága, és ettől fogva:

„az ion is egy részecske ① → amely töltéssel rendelkezik ② → elektron felvétellel vagy leadással keletkezik, ionrácsban kristályosodik ③” sorrendet felváltja a:

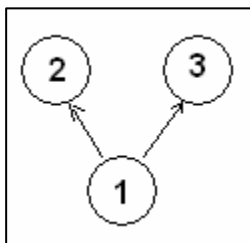
„töltéssel rendelkező ② → részecske ① → amely elektronfelvétellel vagy leadással keletkezik, ionrácsban kristályosodik ③” gondolatmenet.

A nyolcadik évfolyamtól állandósuló szerkezeten belüli esetleges finom átrendeződéseket a Hasse-diagramok segítségével kereshetjük meg (XVII.táblázat).

XVII. táblázat Az évfolyamonkénti tanulói tudásszerkezet gráfokat legjobban leíró Hasse-diagramok

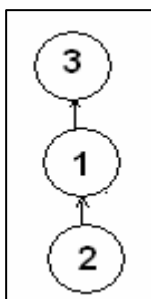
	7. évfolyam	8. évfolyam	9. évfolyam	10. évfolyam	11. évfolyam
A FOGALOMFELÉPÜLÉSÉT LEÍRÓ HASSE-DIAGRAMMOK					
Jelmagyarázat	① Az ion egy (kémiai) részecske. ② Az ion töltéssel rendelkezik. ③ Az ion elektron (proton) felvétellel-leadással keletkezik.				

Az egyes évfolyamokat jellemző diagramok száma arra utal, hogy a fogalom hasonló átalakuláson megy át, mint az az atomfogalom esetén tapasztalható volt. A hetedik évfolyam tanári fogalomalkotását követően megkezdődik a strukturális átrendeződés, és a kilencedik évfolyam sokszínűsége után indul meg a letisztulás a tizenegyedik évfolyamot jellemző szerkezet(ek)re.



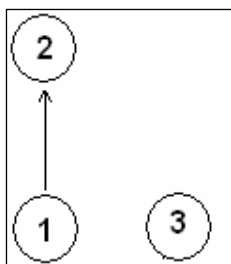
19. ábra Az 1. sz.
Hasse-diagram

A tanulmányaik kezdetén járó diákok számára az ion egy kémiai részecske (①), csakúgy, mint az atom vagy a molekula. Erre a részecskére jellemző, hogy töltött (②), valamint hogy elektronleadással vagy elektronfelvétellel keletkezik (③). Látható, hogy mind a töltöttség, mind a töltöttséghez jutás folyamata párhuzamos tudáselemek, amelyek a részecskefogalomra épülnek. Ez a legelőször rögzült elképzelés több évfolyamon is megtalálható.



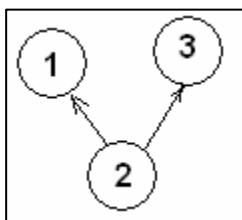
20. ábra A 2. sz.
Hasse-diagram

Sok diák már nyolcadikos korára kialakítja azt a fontossági sorrendet, amelynek során a töltöttség lesz a meghatározó az ionfogalomban. Ez a 2. sz. diagram válik az évek során a leggyakoribbá, a 11. évfolyamra egyeduralkodóvá. E diagram értelmében az ion a töltött részecske, amely úgy keletkezik, hogy elektron(proton)felvétel-leadás történik az illető entitással.



21. ábra A 3. sz.
Hasse-diagram

A 3. sz. Hasse-diagramon a fogalom fejlődésének e diagrammal jellemzett fázisa szerint az ion keletkezésének folyamata leválik a részecskéről. Azaz az ion egy részecske ①, erre épül rá töltöttsége ②. De az, hogy miként keletkezik ③, az egy elkülönülő tudáselemmé válik. Azaz sem a részecskejelleggel, sem a töltöttséggel nincs kapcsolatban az ionképződés folyamata.



22. ábra A 4. sz.
Hasse-diagram

A tanulmányaikban előrehaladva a tanulók ionfogalmára leginkább a „töltéssel rendelkező” szóösszetétellel lesz a jellemző. A töltöttség egyre nagyobb szerephez jut a fogalom felépülésében. Ez nyilvánul meg a 4. sz. Hasse-diagramban, ahol már a töltésre^② épül rá a kémiai részecske jelleg^①, és párhuzamosan ezzel a keletkezés folyamata^③ is.

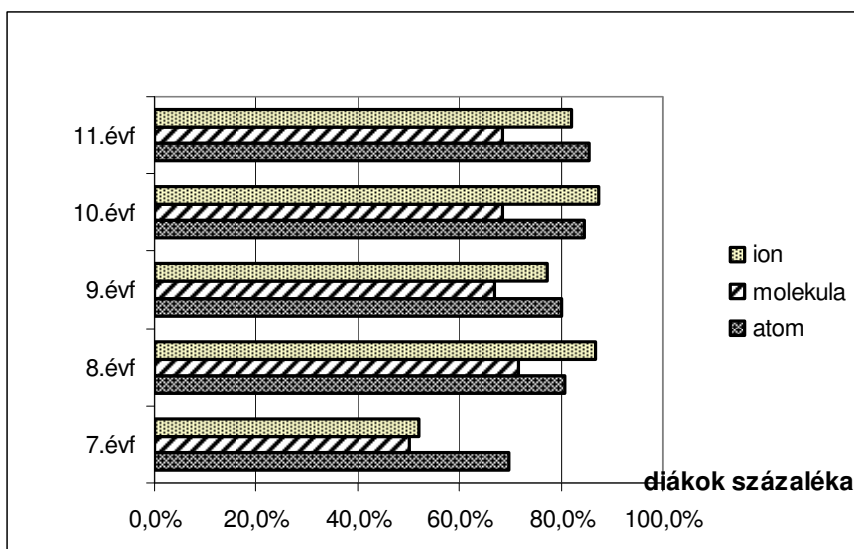
A tudástér-elmélet szerint már nyolcadik évfolyamra bekövetkezik a fogalom következő fajta átrendeződése: a hetedikben tapasztalt $① \rightarrow ② \rightarrow ③$ sorrendet felváltja a $② \rightarrow ① \rightarrow ③$ útvonal, ami egészen a 11. évfolyamig jellemző marad. A Hasse-diagramok segítségével történő vizsgálat ennél finomabb változásokat is kimutatott az évek során. Az egyik ilyen, hogy hetedik évfolyamon az ion töltése^② és a keletkezése^③ nem lineáris, hanem párhuzamos tudáselem, azaz nem épülnek egymásra, amint azt a tudástér-elmélet sugallja. Továbbá az is láthatóvá válik, hogy a változás nem zárul le nyolcadik év végén, hanem még további két éven keresztül strukturális változások történnek a fogalom felépülésében.

7. A KÉMIAI RÉSZECSKÉK TÖLTÉSÉVEL KAPCSOLATOS EREDMÉNYEK

Az elektromos töltéssel kapcsolatos problémák nem csak az ionfogalmat, hanem a kémiai részecskék mindegyikét érintik. Így az atom esetén az atommag és elektronok vonzása, molekulánál a dipólus molekulák, a másodrendű kötőerők magyarázata mind feltételezi az elektrosztatikus vonzás jelenségének, az elektromos töltésnek az ismeretét. Felmérésem 6. feladata vizsgálta azt, hogy a diákoknak milyen ismeretei vannak az atom, molekula, ion töltésével kapcsolatban.

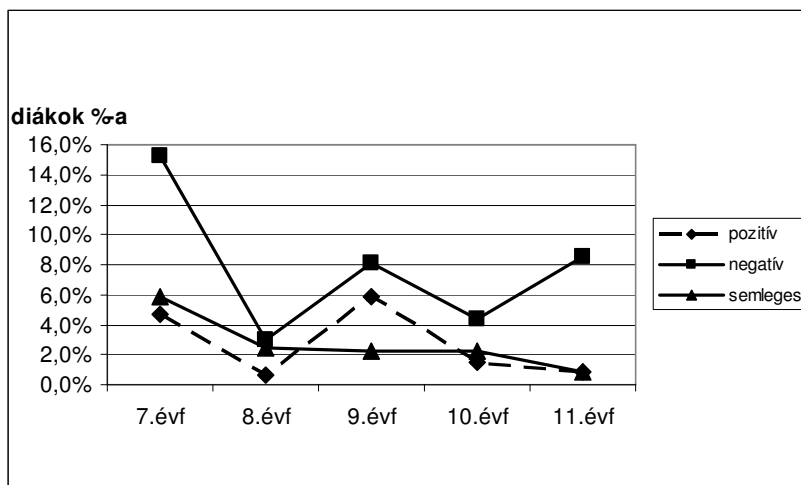
7.1. Az ionok elektromos töltése

Az atomi világ szereplőinek töltöttségével kapcsolatosan hetedik évfolyamon látszik a legnagyobb hiányosság (23. ábra). A jelenség egyik magyarázata, hogy lehetnek olyan diákok, akik nem tanulták ekkor még az ionfogalmat, így a töltésre vonatkozó kérdést sem tudták értelmezni. A 8. évfolyam fizika tananyagát alkotja az elektromosság – elektrosztatikus jelenségek témaköre, és láthatóan ezt követően az ionok töltéséről is a diákok ~80%-a helyes elképzeléssel rendelkezik.



23. ábra A tanulók hány százaléka ad helyes választ az atom, molekula és ion töltésére

Az ion töltésére vonatkozó kérdésnél a helytelen válaszok között a leggyakoribb az ion csupán negatív töltésűnek nyilvánítása. Ez a hibás válasz minden évfolyamon felülmúlja az iont semlegesnek, illetve csak pozitívnak vélt válaszok számát (24. ábra).



24. ábra Az ion töltésével kapcsolatos hibás válaszok megoszlása

Amennyiben az ionfogalom bevezetése a keletkezésének folyamatára épül, a diák számára egyértelmű, hogy egyszerre jelenik meg a pozitív és negatív töltésű részecske. Ahol az ionfogalom csupán mint a kémiai részecskék egyike jelenik meg, a pozitív és negatív töltések egyidejű megjelenése már nem tűnik ennyire magától értetődőnek.

Az ebből eredeztethető hibás elképzelés található meg például az egyszerű ionra adott definícióknál is.

Például:

„Csak kation vagy anion van benne” 10.

„Vagy csak kationból vagy csak anionból létrejött ion” 7.

„Csak pozitív vagy csak negatív ionok kapcsolódnak” 7.

A válaszokból az derül ki, hogy a diákok számára természetesnek tűnik, hogy az anionok és a kationok egymástól elkülönülve alkossanak kation- és anionhalmazokat, vagyis azonos töltésük ellenére még vonzzák is egymást.

A hetedik évfolyamon a négy alapvető erőből fizikai tanulmányaik során csak a gravitációs erőhatást érintették, mind a mágneses, mind az elektrosztatikus erő csak a hétköznapi tapasztalatok szintjén van jelen a diákok ismereteiben. Hiánya miatt nem ritkák az ionra adott ilyen suta megfogalmazások:

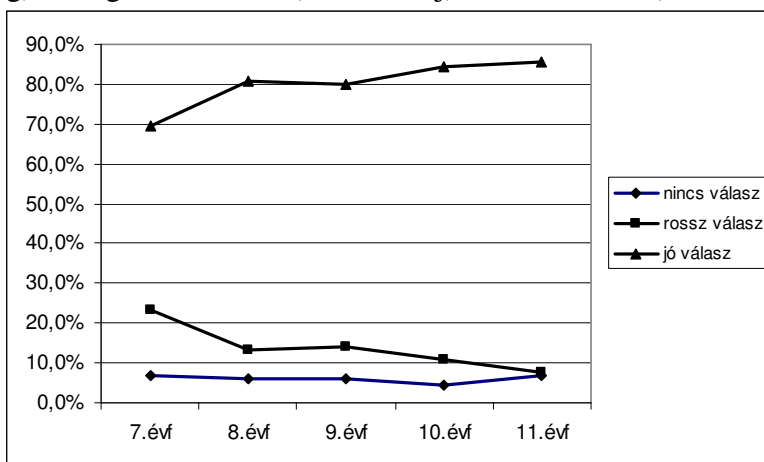
„Vonzással vagy taszítással bíró kémiai részecske.” 8.

„Ellentétes töltésű kémiai részecske.” 10.

„Két különböző atom kapcsolódása.” 9.

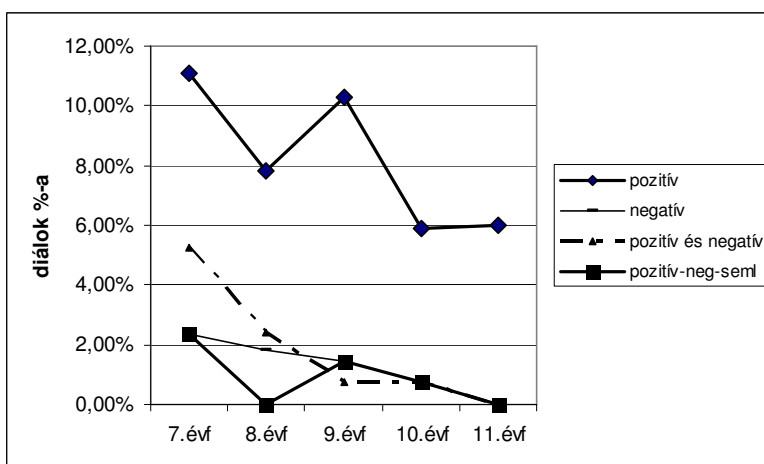
7.2. Az atomok elektromos töltése

A hetedik évfolyamos tanulók 30%-ának problémát jelent annak megértése, hogy miként lehet semleges az atom, ha egyszerre pozitív (atommag) és negatív töltéssel (elektronháj) is rendelkezik (25. ábra).



25. ábra Az atom töltésének ismerete évfolyamonként

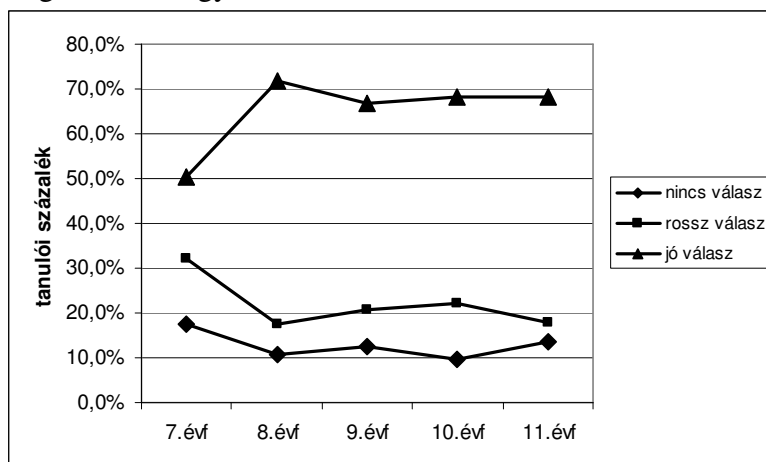
A 26. ábra diagramján látható, hogy a hibás válaszok megoszlásánál az atomot legtöbbször pozitív töltésűnek nyilvánították. Nagy volt a pozitív-negatív és a pozitív-negatív-semleges válaszok aránya is, ami arra utal, hogy egy hetedik évfolyamos számára nem nyilvánvaló, hogy az ellenkező előjelű töltések azonos száma semlegességet eredményez, inkább felsorolták az atomot alkotó elemi részecskék töltését külön-külön.



26. ábra Az atom töltésével kapcsolatos hibás válaszok megoszlása

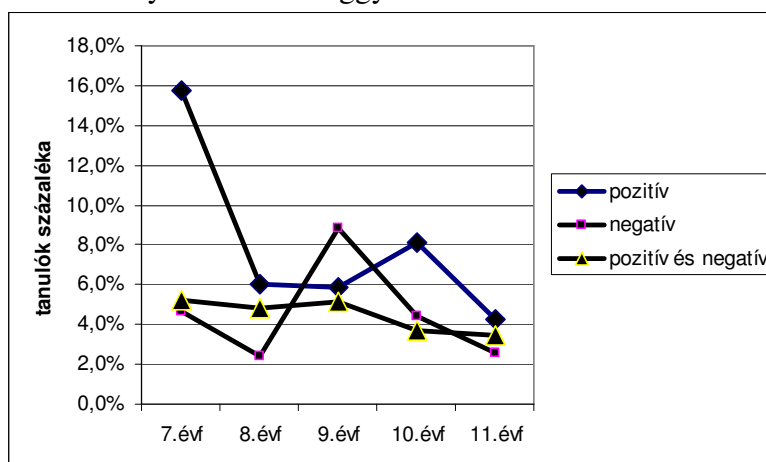
7.3. A molekulák elektromos töltése

A legnehezebben a molekulák töltését értelmezik a diákok (27. ábra). A kezdeti bizonytalanságot valószínűleg az okozza, hogy a tankönyvi és tanári definícióban többnyire nincs olyan módon hangsúlyozva a molekula semlegessége, mint ahogy az atom esetében szokásos.



27. ábra A molekula töltésének ismerete

A molekulára adott három lehetséges rossz válasz közül a molekula pozitív töltésűnek nyilvánítása a leggyakoribb.



28. ábra A molekula töltésével kapcsolatos hibás válaszok megoszlása

A hibás válaszok között gyakori, hogy a diákok nem pusztán a töltést adják meg, hanem magyarázattal is szolgálnak az értelmezéséhez. Az ilyen válaszokból az derül ki, hogy az ionok alkotta vegyületeket (pl. NaCl) is

molekulárisnak képzelik. Ennek következtében számukra a molekulaalkotók pozitív és negatív töltést is tartalmaznak. Például:

[A molekula töltése] „Az ionoktól függ” 8.

[A molekula töltése] „Ha atomokból áll, akkor semleges, ha ionokból +/-,, 10.

A „pozitív és negatív töltésű” válaszok másik oka a poláris molekulák töltéseltolódásának helytelen értelmezése. Némely válaszban ez konkrétan meg is jelenik.

Például:

[A molekula töltése] „Poláris vagy apoláris” 7. 11.

[A molekula töltése] „Poláris / apoláris” 10.

8. AZ „ELEM/ELEMI” SZAVAK JELENTÉSÉVEL KAPCSOLATOS NEHÉZSÉGEK

8.1.1 Az „elem” szó jelentése a tanulók válaszaiban

Az elem szónak a tudományos jelentésén túl egy újabb jelentést tulajdonítanak a diákok. A szó az oszthatatlanság szinonimájává válik.

„Elemek azok az anyagok, amelyek kémiai úton tovább már nem bonthatók egyszerűbb anyagokra” definíció megfordítása ugyanis azt sugallja a tanulók számára, hogy ami már nem osztható, az már az elem, vagy elemi kategóriába sorolható.

Ez az elképzelés főleg az elemmolekula definiálása esetén nyilvánul meg. Az elemmolekula és a vegyületmolekula definícióját ugyanis nem minden tankönyv (tanár) adja meg, ennek következtében a diákok egy része megpróbálja az összetett szó tagjainak jelentéséből felépíteni a definíciót. Ebben az elem szó az oszthatatlanságot jeleníti meg, míg a molekula jelentése ennek pontosan ellentmond, így jönnek létre az alábbi válaszok:

[Az elemmolekula] „Olyan kémiailag tiszta anyag amely nem bontható szét több molekulára” 7.

[Az elemmolekulák] Elemekből jönnek létre. Nem bonthatók tovább 7.

[Az elemmolekula] Olyan molekula, amit nem lehet tovább osztani 8.

[Az elemmolekula] Olyan molekula, amely már nem bomlik több részre (atomokra) 10.

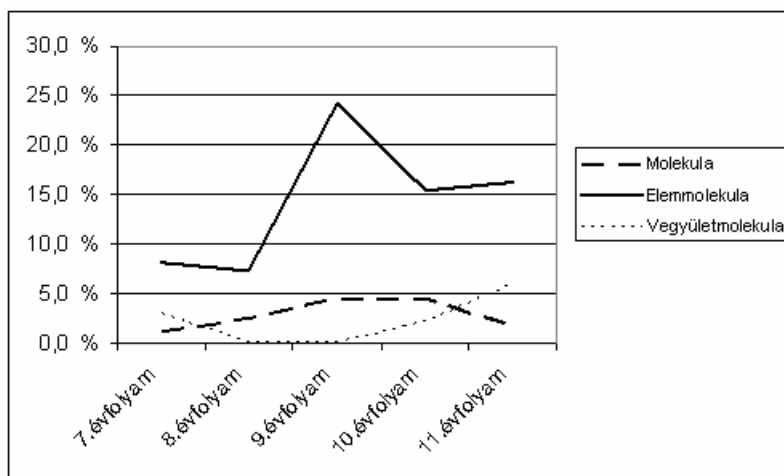
A molekula, elemmolekula és vegyületmolekula fogalma a makro- és az atomi szinten adott fogalmak keveredésére rengeteg példával szolgál. Nagyon gyakori az elem és az atom, illetve a vegyület és a molekula fogalmának keveredése:

Elemmolekula:

„Elemekből felépülő molekula” 7-11.

„A molekula csak elemekből épül fel” 10.

„Két ugyanolyan elem összekapcsolódása H_2 , O_2 ” 10.



29. ábra Azon diákok aránya, akik definíciójukban keverik a makroszintű elemfogalmat a molekuláris szint atomfogalmával

Ugyanez a fogalmi zavar áll elő a vegyületmolekula megfogalmazásánál is:

„Különböző elemeket tartalmazó molekula” 7-11.

„Különböző elemeket tartalmazó molekula $NaCl$, H_2SO_4 ” 8.

A vegyületmolekula definíciójánál is nagyon gyakori a makro- és az atomi szint fogalmainak keveredése. Nem egyértelmű a diákok számára, hogy mi a kapcsolat a *molekula* és a *vegyület* fogalma között. Nem ritka az ilyen meghatározás:

[A vegyületmolekula] „Vegyületek által alkotott molekula” 7-11.

[A vegyületmolekula] „Olyan molekula, mely vegyületekből épül fel” 7-11.

A *vegyül* szó jelentése tűnik fel a vegyületmolekula egyik értelmezésében, amikor úgy gondolják, hogy ez a fogalom olyan molekulát jelenthet, amely más molekulák vegyülésével, reakciójával áll elő:

„Például $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$ ” 11.

„Kétféle molekula vegyülete” 11.

„Többfajta molekulát tartalmaz” 9.

Ugyanez a logika jelenik meg az összetett ion fogalmánál is. Az összetett szó a hétköznapiakban az egymáshoz rakott, összeillesztett értelmezést is jelenti, ennek értelmében születtek meg az alábbi definíciók:

„Kation és anion is megtalálható benne” 10.

„Többféle iont is tartalmaz pl.: Na^+OH ,” 8.

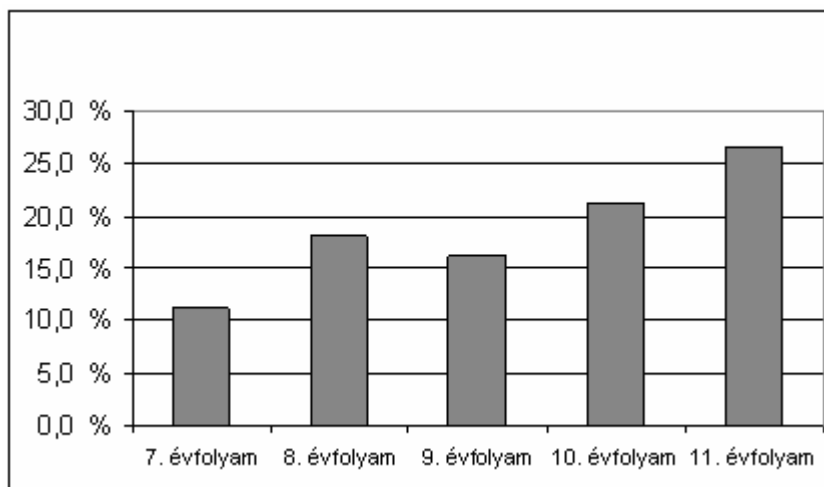
„Különböző töltéssel rendelkező ionok összekapcsolódása” 7-11.

„Az összetett ion több ionból épül fel pl.: Hg^{2+} , Cl^{2-} ,” 10.

A válaszok arra utalnak, hogy az anion és a kation rendeződik egymás mellé, vagyis „összetevődik”.

8.1.2 Az „elemi” szó jelentése a tanulók válaszaiban

Magyarországon rendkívül elterjedt, de a kémiai szakirodalomban eddig sehol nem említett tévképzet, hogy az atomi világ szereplőit (atomok, molekulák, ionok) elemi részecskéként definiálják a tanulók (30. ábra). A hibás választ adók között elenyésző azok száma, akik valóban az atomot felépítő részecskéket értik az elemi részecske alatt.



30. ábra Azon diákok számaránya évfolyamonként, akik elemi részecskének definiálják az atomot

Az elemi szó népszerűségének magyarázata egyértelműen nyelvi, értelmezési problémára vezethető vissza. Az elemi szó ugyanis nemcsak az atommal kapcsolatos definíciókban bukkan fel.

A H vegyjel jelentésénél: „Elemi hidrogénrészecske” 10.

Kation definíciójánál: „Pozitív elemi töltéssel rendelkező elemi részecske” 10.

Elemmolekula esetén: „*A molekula kizárólag elemi részecskéket tartalmaz*” 9.

Ugyanazon tanulóknál a definíciók és a többi feladatra adott válaszok vizsgálata során kiderült, hogy az *elemi* szó számukra nem a fizika által használatos elemi jelzőt takarja. Ennek egyik oka, hogy az elemi részecske fogalmának hangsúlyos megjelenése a felmérés idején a 12. évfolyam fizika tananyagához kötődött, másrészt kémiából a hetedik évfolyamon a hirtelen diákokra zúduló új fogalmak között az már nem hangsúlyozódik ki, hogy valójában mit is nevezünk elemi részecskének. Így a diákok az elemi jelzőt annak köznapi értelmében használják. Azaz számukra jelenti:

1. az alapvető-meghatározó jelzőt

„*Legkisebb önálló elemi egység, a szó a görög oszthatatlan (atomosz) szóból, ered*” 10. definícióban például az elemi jelző arra utal, hogy ez egy alapvető egység. Egy 11. évfolyamos diák pedig a következő definíciókat adta: „*Az atom elemi részecske*”, „*A molekula több atomból felépülő elemi részecske*”, és „*Az ion töltéssel rendelkező elemi részecske*”. Egyértelmű, hogy az anyagokat felépítő alapegységeket minősíti az elemi jelzővel.

2. elemből képződött jelzőt

Elemmolekula: „*Elemi atomokból álló kémiai részecske*.” 10.

Elemmolekula: „*Elemi részecskék kapcsolódnak molekulává. pl. O_2 , N_2 , H_2* ” 10.

A példákból érzékelhető, hogy egy elem atomjaiból álló molekula kifejezését érti alatta.

Az elemi szó jelentését tovább bonyolítja, hogy egy újabb, kémiában használatos fogalomban, az *elemi állapotú előfordulás*-ban is megjelenik. Ez további értelmezési zavart kelt a diákok körében. Különösen nyilvánvalóvá válik ez az elemmolekula definíciójánál. Sokan az elemi állapotú előfordulást igyekeznek belefoglalni az elemmolekula definíciójába. Többen a természetben előforduló elemi állapotú gázmolekulákra, nemesgázokra vonatkoztatták a fogalmat.

Például:

„*Az adott elem a természetben így fordul elő, nem pedig atomként*” 7.

„*Ami a természetben is előfordul*” 7.

„*Egy adott elemnek a molekulája, egy anyag elemi állapotban csak elemként fordul elő*” 8.

„*Az elemek molekulái, amiben természetes formában előfordulnak pl.: O_2* ” 9.

„*1 molekula 1 atomból áll, nemesgázokból áll*” 11.

9. A SZIMBÓLUMOK JELENTÉSNEK ISMERETE

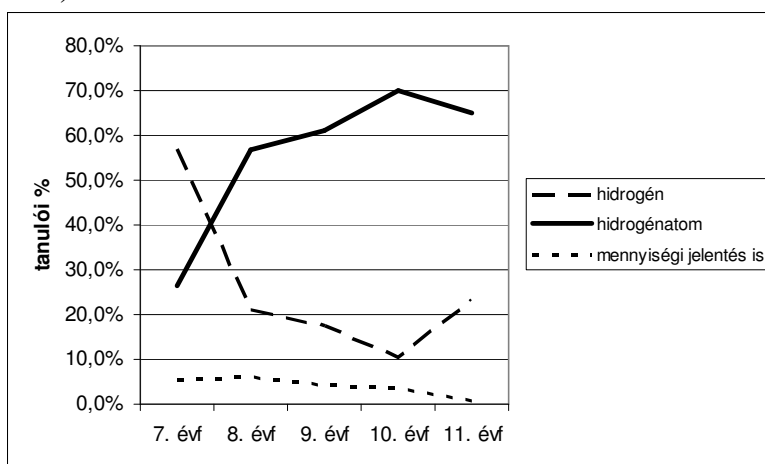
Wu, Krajcik és Soloway (2000) tapasztalata szerint a tanulók többségének kémiai megértését a köznapi életből szerzett tapasztalatai irányítják, ezért hajlamosak az érzékelhető [makro] szint tulajdonságait, törvényeit érvényesíteni az atomi világra. Így nem képesek megjeleníteni a részecskeszinten bekövetkező jelenségeket és azok szimbolikus leírását. Vizsgálatuk arra irányult, hogy milyen szinten [makroszkopikus – atomi - szubatomi] értelmezik a diákok az egyes kémiai jelöléseket, mint például $\text{Cu}_{(s)}$, $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, és $\text{Cl}_{2(g)}$. Tapasztalatuk szerint a tanulók többsége összekeveri az atom és a molekula fogalmát. Sokan közülük a víz képletére vonatkozó kérdésre annak makroszkopikus szinten tapasztalt tulajdonságait adták meg. Az atomi szint modelljeit helytelenül használták fel a magyarázataikhoz. Például a tanulók 20%-a tanulmányai során annál a gondolatnál maradt, hogy a víz képletében található H_2 azt jelenti, hogy a víz egy egységnyi H_2 gázt tartalmaz. A tanulók sikerrel ismerték fel a klór és a hidrogén jelölését, de jelentésében már visszatértek a makroszintű tulajdonságokhoz. Nagyon sok tanuló még kémiai tanulmányainak végeztével sem volt tisztában a képlet jelentésével, néhányan csak a név rövidítéseként értelmezték a képletet, és nem az illető anyag felépülésére utaló információt látták benne. További észrevételük az volt, hogy a diákok szerint a képletben található elemek szimbólumai azt jelentik, hogy a képlet ezen elemek keverékéből áll elő.

9.1. A kémiai jelrendszerrel kapcsolatos eredmények

A vizsgálatomba bevont, hetedik évfolyamra íródott kémia tankönyvek mindegyike felsorolja, hogy a vegyjelnek, képletnek milyen minőségi és mennyiségi jelentést tulajdonítunk a kémiában, de annak begyakoroltatására, elmélyítésére, hogy mikor melyik jelentését használjuk, csak kevés figyelem irányul. Felmérésem tapasztalata az, hogy csak kevés olyan diák volt, aki a H , a H_2 illetve a H^+ jelölések értelmezésénél kitért a mennyiségi meghatározásokra is. A többség számára a vegyjel és a képlet az illető anyagfajta nevének rövidítését vagy egy entitását jelenti csupán. Ennek oka lehet, hogy tanórán legtöbbször a vegyjel, képlet minőségi jelentése kerül előtérbe, míg példamegoldásra – ahol a mennyiségi jelentésnek is nagyobb szerep jut – kevés idő marad.

9.1.1 A „H” vegyjel jelentése

A H jelölés értelmezése a 7. évfolyam diákjainak többségénél még a keresztrejtvények megfejtésére hasonlító módon jelenik meg, amikor is a „A hidrogén vegyjele” kérdésre az egyetlen négyzetbe írható helyes válasznak a H betűt fogadják el. A diákok számára valószínűleg a kérdés megfordítása a válasz arra, hogy mit is takar a H jelölés: a „hidrogént”. Hetedik évfolyamon a *hidrogén* válasz alatt a tanulók valószínűleg a periódusos rendszer legelső négyzetében szereplő elemet értik, nem pedig valami konkrét, „kézzelfogható” dolgot, mint amilyen a hidrogénatom. Ez a jelentés aztán a későbbiek során átalakul, és az atomi szinten értelmezett „hidrogénatom” váltja fel (31. ábra).



31. ábra A „H” vegyjel értelmezése

Minden évfolyamon előfordult az a válasz, hogy a H jelölés „az elemi hidrogént” vagy „elemi állapotú hidrogént”, illetve „elemi hidrogénrészecskét” jelent. Ez a már ismertetett értelmezés szerint a hidrogént mint elemet – téves szóhasználattal az „elemi hidrogént” jelöli.

9.1.2 A „H₂” képlet jelentése

Már a felmérés 1. feladatában, a molekulára adott tanulói definíciókban is felbukkant olyan válasz, amely egyértelműen arra utalt, hogy a molekulában az együttthatók kiemelt szerephez jutnak a diákok gondolkodásában.

Például:

„A molekulában a résztvevő atomok száma van feltüntetve
pl.: H_2 - H_2SO_4 -ben” 11.

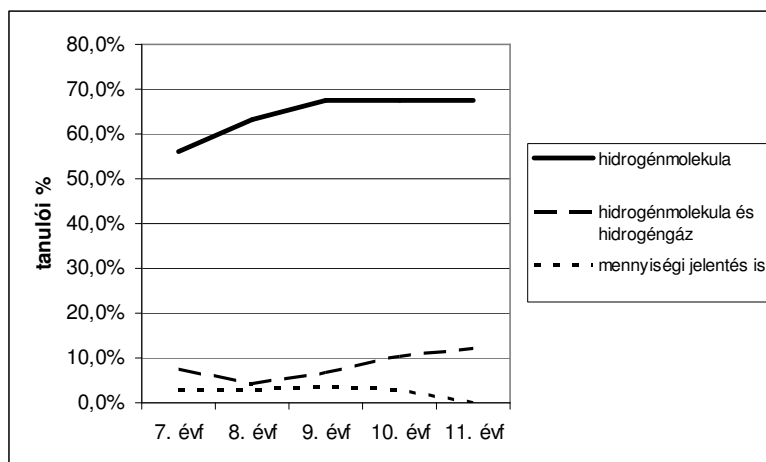
[A molekula] „Megmutatja képletben az atomok szerveződését.” 8.

A H_2 jelentésére adott hibás válaszok között nálunk is megjelent az a nemzetközi tapasztalat, hogy a tanulók képlet összetevőit additívan kezelik. Így a diák számára a molekuláris H_2 jelentésében megegyezik a víz képletében szereplő H_2 -vel.

Például:

[H_2 jelentése:] „Molekula, a víz képletében is így írjuk” (7. évf)

A felmérés legfontosabb eredménye, hogy a diákok többsége a H_2 jelölést egyértelműen atomi szinten értelmezte (32. ábra):



32. ábra H_2 képlet értelmezése

Az első két évfolyam válaszai között érdekes, nem várt hibának bizonyult, hogy a H_2 képletet néhányan összekeverték a 2H vegyjellel, a deutérium jelölésével.

Például:

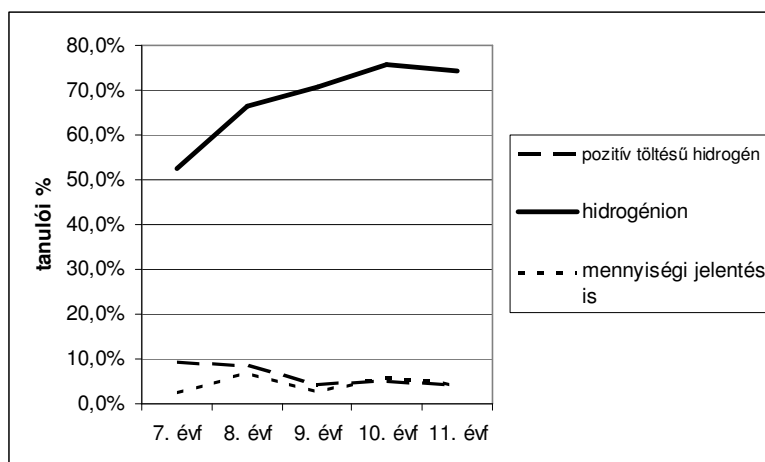
„Deutérium: a hidrogénizotóp $1p^+$ és $1n^0$ tartalmaz” 7.

„A hidrogén második izotópja deutérium (2 neutron tartalmaz)” 8.

9.1.3 A „ H^+ ” képlet jelentése

A már ismertetett tapasztalatok alapján a legsikeresebb definíciók közé tartozott az ion, hiszen viszonylag egyszerűen definiálható fogalom.

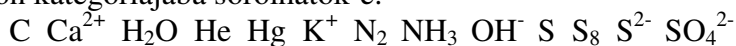
Ugyanakkor a H^+ jelentésének értelmezésekor bizonytalanság volt érzékelhető. Míg a H jelölést a diákok kapcsolni tudták a periódusos rendszerben látható H vegyjelhez, vagy a H_2 jelölést a makroszint hidrogéngázához, addig az ionfogalomra nem található ennyire egyértelmű kapcsolat a makroszintű megfeleltetésre. Ezért adták sokan válaszként a H^+ -ra a „pozitív hidrogén”-t, amelyről nem dönthető el, hogy mit is akar jelenteni, atomot, molekulát, esetleg gázt (33. ábra). Ez az értelmezésbeli bizonytalanság jelenik meg a „Pozitív töltésű egyatomos hidrogén gáz” 10., illetve a „Hidrogén, csak máshogy van leírva” 8. válaszokban.



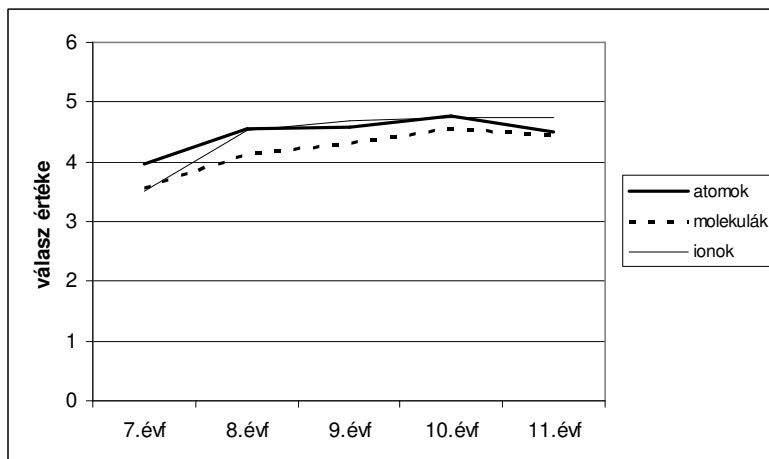
33. ábra A H^+ jelölés értelmezése

9.1.4 Az atomok, molekulák, ionok jelölésének ismerete

A felmérés 3. feladatában a kémiai jelölésrendszer vizsgálatánál a diákoknak a következőkről kellett eldönteni, hogy azok az atom, molekula vagy ion kategóriájába sorolhatók-e:

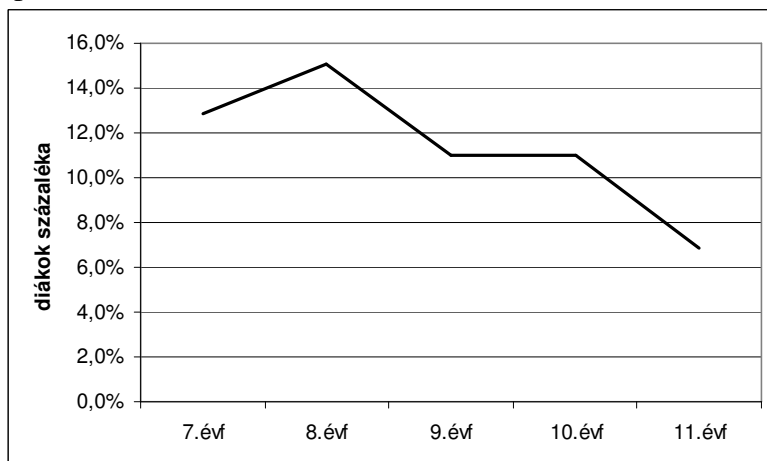


A feladatmegoldás sikerességét mutatja az egyes évfolyamokon a 34. ábra.



34. ábra A vegyjelek, a képletek besorolásának sikeressége (az elérhető maximális pontszám 5)

Az első kémiás év értelmezési nehézségei után, egészen jó szinten ismerték fel a diákok a jelöléseket. Értelmezési sémájuk valószínűleg azon a logikán alapult, hogy ha a jobb alsó sarokban van index, akkor molekulát, ha pedig a jobb felső sarokban, akkor pedig iont jelöl. Így várhatóan akkor következik be probléma, amikor alul és fölül is megjelenik az indexelés, amint az például a szulfátionban (SO_4^{2-}) található.



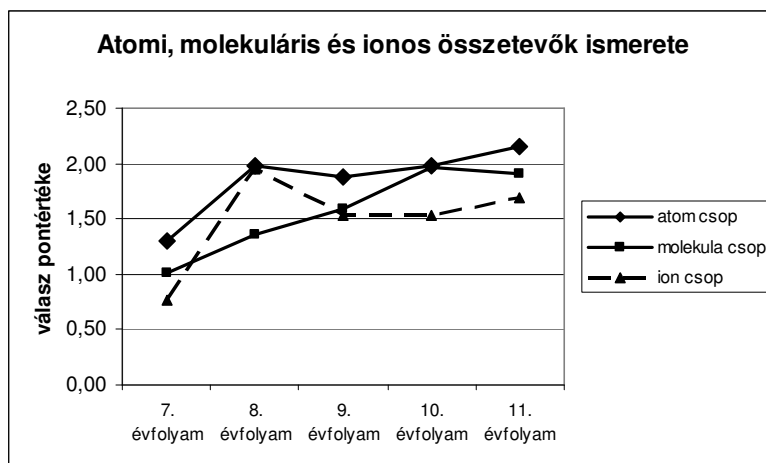
35. ábra Azon diákok százalékos aránya, akik a szulfátiont molekulaként értelmezik

Az első két évben sokan mind a molekula, mind az ion kategóriájába besorolták a szulfátiont, mert nem tudták eldönteni, hogy melyik a „magasabb rendű” index, az alsó vagy a felső (35. ábra).

10. A MAKRO- ÉS AZ ATOMI SZINT KAPCSOLATA

Amíg a diákok nem szereznek kellő gyakorlatot a kémia tudományterületén, addig számukra sok esetben érthetetlennek bizonyul sok olyan szintaktikai szabály, amely egy kémiában jártas személy számára magától értetődik. Ilyen probléma például, hogy mikor kell „klór” kifejezés alatt a Cl és mikor a Cl₂ jelölést értelmezni. A tanórai szituációkban csak a legritkább esetben hangsúlyozódik ki az, hogy a tanár milyen megjelenítési szinten értelmezi éppen azt a fogalmat, ez többnyire csak a szövegkörnyezetből derül ki.

A felmérés 4. feladata azt vizsgálta, hogy a diákok miként tudják összekapcsolni a makro- és atomi szintű ismereteiket. Ebben a tanulónak a hétköznapi anyagokat (kristálycukor, gipsz, asztali só, levegő stb.) felépítő részecskék típusát kellett megválaszolni. Vizsgálatom során a makroszint anyagait attól függően soroltam csoportokba, hogy milyen típusú kémiai részecskék alkotják. Így először azt vizsgáltam, hogy milyen szinten van az atomi, a molekuláris, illetve az ionos összetevőjű anyagok alkotóinak az ismerete (36. ábra). A válaszok pontértéke is mutatja, hogy évfolyamtól függetlenül ez volt a legnehezebben megoldható feladat a diákok számára,



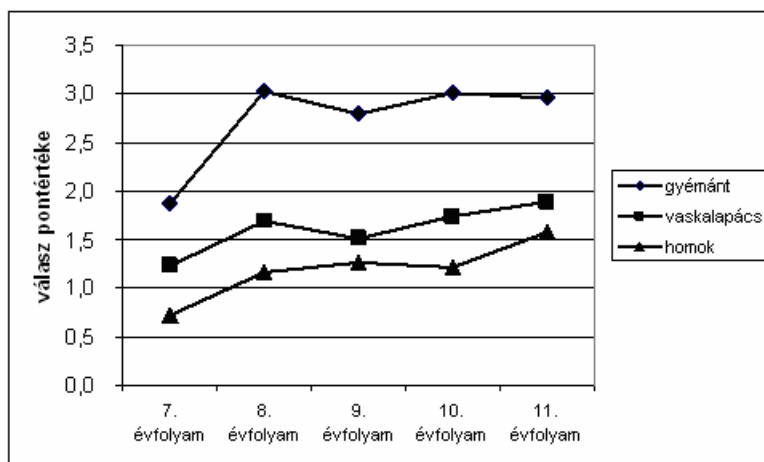
36. ábra Az atomi, a molekuláris és az ionos összetevőjű anyagok ismerete (az elérhető maximális pontszám: 5)

Minden csoportnál általános hibaként jelenik meg, hogy az alkotók felsorolásánál makroszintű válaszokat adnak. Nagyon sokan a „milyen kémiai részecskékből épül fel” kérdést úgy értelmezték, hogy a kérdés arra vonatkozik, hogy milyen kémiai elemekből épül fel az illető anyag. Azokat a

megfogalmazásokat, amikor a tanulók igyekeznek a hivatalos formalizmust követni, válaszaik viszont arról árulkodnak, hogy nem helyesen értelmezik az összefüggéseket, *pszeudotudományos* válasznak lehet minősíteni (Saul és Kikas, 2003). Ilyen pszeudotudományos válasznak minősíthető például az olyan válasz, hogy a gyémánt „C-ből”, a kristálycukor „C, O és H”-ből épül fel.

10.1. A gyémánt, vas és a homok összetevőinek ismerete

A három anyag közül a tanórák tipikus példájaként szereplő atomrácsos anyag, a gyémánt ismerete volt a legsikeresebb. Ettől jelentősen elmaradt a homok, illetve a vaskalapács alkotóinak ismerete (37. ábra).



37. ábra A gyémánt, vaskalapács és homok komponenseinek ismerete (az elérhető maximális pontszám: 5)

A gyémánt összetevőinél leggyakoribb hiba volt a „szénből” vagy „C-ből” történő válasz.

A homokszem és a vaskalapács anyagának ismertsége miatt az azok összetételére adott tanulói válaszok esetén nyilvánvalóbban jelentek meg a makroszintű ismeretek. Válaszaikba beleszórták azt a tapasztalatot, hogy a köznapok szintjén értelmezett homok és a vas kifejezés alatt nem a kémiai értelemben vett, egyetlen alkotóegység által felépített dolgot értjük.

Pl.: [A homokszem összetétele]

„Szennyeződések, SiO_2 ” 7.

„Si és a talajtól függ” 8.

„Szilíciumból és más sókból” 8.

[A vaskalapács fejének összetétele]

„Vas, szén, szennyeződés” 8.

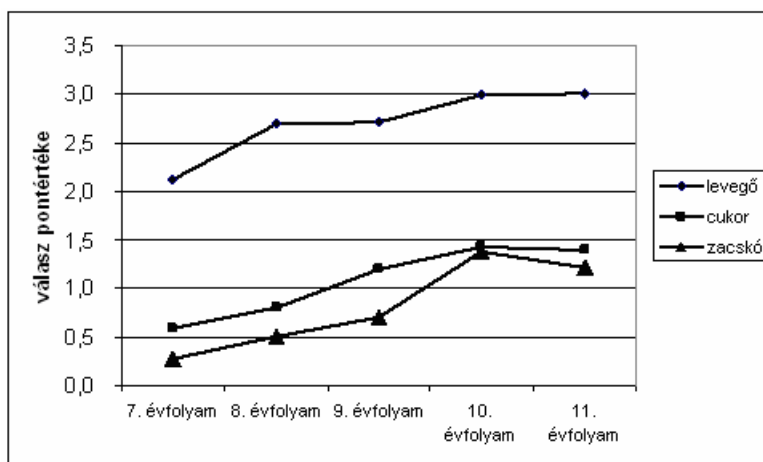
„ Fe_2O_3 , FeO , Fe (belül), C ” 9.

„Vasból és szénből” 7.

Pszeudotudományos válasz a homokot alkotó kémiai összetevőkre adott „kvarc”, „kvarckristály”, „ Si és O ”, illetve a „ SiO_2 ” képlet. Minden évfolyamon ezek alkották a hibás válaszok zömét. Gyakorinak bizonyult még a SiO_2 képlet molekulaként történő megemlítése, de előfordult a „kvarc molekula” kifejezés is.

10.2. A levegő, cukor és PE-zacskó összetevőinek ismerete

A molekuláris alkotókat tartalmazó anyagokkal kapcsolatos tanulói ismeretek között a levegő alkotóinak ismerete vetekszik a gyémánt összetevőjének ismertségével. Ugyanakkor a kristálycukor és a polietilén zacskó összetevőit csak kevesen tudták helyesen megadni. Hetedik évfolyamon ez normálisnak is tekinthető, hiszen a kristálycukor és a polietilén zacskó összetételét a diákok többsége az első év során még nem tanulja, de a 10. évfolyam végeztével, egy év szerves kémiai ismeret hatására sem ér el kellő szintet ez az ismeret.



38. ábra A levegő, cukor és a PE-zacskó komponenseinek ismerete (az elérhető maximális pontszám: 5)

Ennél a csoportnál is elmondható, hogy a helytelen válaszok többsége a makroszinthez kötődött. Ezek szerint a cukor alkotói közé tartozik a „ C , a H és a O ”, esetleg szóban megfogalmazva: „szén, oxigén, hidrogén”. Magasabb évfolyamokon a válasz kibővült a (különböző helytelen) glükóz képlettel. Például: „ $C_6H_{12}O_6$ szén, hidrogén, oxigén”. Teljesen elfogadható válasz, mint például [a cukor] szacharóz molekulákból áll vagy $C_{12}H_{22}O_{11}$

molekulákból áll, csak a 7. évfolyamon(!) született 2 különböző iskolában tanuló diáktól.

10.3. A levegő összetételével kapcsolatos tapasztalatok

A levegő összetevőinek diákok általi ismertsége, illetve a feladat „népszerűsége” (keves olyan tanuló volt, aki nem válaszolt erre a kérdésre), lehetővé tette, hogy a tudástér-elméletet és a fenomenografikus elemzést egy, az eddigiektől eltérő módon alkalmazzam, ezzel bizonyítsam a módszer életrevalóságát.

10.3.1 Irodalmi vonatkozások a levegővel kapcsolatosan

A levegő az anyagi világ egyik legközismertebb anyaga. A diákok már a kémia oktatását megelőzően kialakítják elképzelésüket a levegőről. *Berkheimer, Anderson és Blakeslee* (1999) így foglalta össze a diákok levegőről alkotott elképzelését:

„A levegő az valami, vagy semmi? triviális kérdésre néhány diánk azt válaszolja, hogy, az semmi. Mások arra gondolnak, hogy az valami létező, de az elképzelésük még nem üti meg a tudományos szintet. Például néhányan a levegő szót a gáz szó szinonimájaként használják. Egy nagyon elterjedt tévképzet az is, hogy a levegőt levegőmolekulák alkotják, és ezek akár láthatók is. A tévképzetek sorába tartozik még, hogy a levegő alkotói közé sorolják a porszemcséket, füstreszecskéket, baktériumokat, szennyeződéseket. Ezek a porszemcsék és baktériumok a diákok szerint a levegő molekuláival egy nagyságrendi kategóriába tartoznak. ... Egy másik jól ismert tanulói tévképzet a levegő összetételével kapcsolatosan, hogy a levegő egy folytonos közeg, ami arra szolgál, hogy tartsa a port, a szennyeződést és a szagokat.”

Amit még hordozhat a poron kívül, az a víz. E kettő anyag bizonyos megjelenési formái ugyanis láthatóak a levegőben. Ezzel kapcsolatosan *Osborne és Cosgrove* (1983) hívta fel a figyelmet tanulói tévképzetekre. Arra a kérdésre, hogy mi történik a tányérba öntött vízzel, mivel az egy idő múlva eltűnik onnan, néhány tanuló ilyen válaszokat adott: a tányér megköti; a víz eltűnik; a víz átalakul hidrogénné és oxigénné. 17 éves kor után az első két tévképzet megszűnik, de a diákok közel 30 százaléka továbbra is úgy véli, hogy a párolgáskor a víz oxigénné és hidrogénné alakul, úgy kerül a levegőbe. *Valanides* (2000) felmérése bizonyítja a tévképzet makacs rögzülését. Görög alsóéveseket tanító pedagógusoknak is csak a negyede gondolja úgy, hogy az elpárolgott víz ugyanaz a szubsztancia, mint a folyadékállapotú víz. 30 százaléuk gondolja úgy, hogy a párolgás során a víz levegővé változott, 35 százaléuk szerint pedig a víz párolgáskor felbomlik oxigénre és hidrogénre.

Berkheimer, Anderson és Blakeslee (1999) a már idézett összefoglalásukban úgy fogalmaznak, hogy „A levegőt alkotó sok egyéb molekula között előfordul a víz is. Néhány tanuló számára nagyon nehéz megértetni, hogy az összetevők között felsorolt víz ugyanolyan gázhalmazállapottal rendelkezik, mint a többi, levegőt alkotó gáz.” A tanulókkal történő beszélgetések alapján elképzelésük a következő logikai sorrendet követi: ha a víz elpárolog, akkor gázhalmazállapotúvá válik; a gázhalmazállapot pedig a gázokra jellemző. Ennek következtében a víz gázhalmazállapotúvá válása egyben azt is jelenti, hogy elemeire bomlik, azaz H_2 -re és a gyakori válaszok szerint atomos oxigénre (O); ezek viszont köztudottan gázok. Gyakorta a tanári, tankönyvi magyarázatban a levegő alkotói között megemlített oxigéngázt azonosítják a víz bomlásából származó oxigénnel, és ennek kísérője a bomláskor keletkezett hidrogén, ami így szintén a levegőbe kerül.

Skamp, Boyes és Stanisstreet (2004) által végzett felmérésben a 6., 8. és 10. évfolyamok tanulóinak átlagosan 91 százaléka jelölte meg az oxigén, 87 százaléka pedig a vízgőz jelenlétét a tiszta levegőben. A többség (59%) az alkotók közé sorolta a szén-dioxidot is. A hidrogént a levegő alkotói közé a 6., 8. és 10. évfolyamokon a diákok 60, 70, illetve 75 százaléka sorolta.

Za'rour (1975) 9. és 11. évfolyamos diákok esetén találta azt a tévképzetet, hogy a diákok szerint a levegőt jószerével csak oxigén alkotja. Erre az eredményre jutott *Bell (1985)* is, aki a fotoszintézis és légzés témakörénél tapasztalta, hogy a levegő fogalmát az oxigénnel teszik egyenlővé a diákok.

Berkheimer, Anderson és Blakeslee (1999) felsorolja azt a közismert tévképzetet is, hogy légzéskor oxigént lélegzünk be, és szén-dioxidot bocsátunk ki.

10.3.2 A tanulói válaszok kiértékelése

A tanulói válaszok kiértékelése során négy alapelképzelés bontakozott ki a levegő összetételével kapcsolatosan:

1. Leegyszerűsítő csoport „A levegő az az oxigén”.

Mivel a levegő összetevői közül a leggyakrabban emlegetett anyag az oxigén, ez kerül legtöbbször előtérbe a légzéssel, az élethez szükséges feltételekkel azonosítva. Az ilyen tanulói válaszok tartoznak ide:

„ O_2 ” 7.

„ O_2 atomokból – molekulákból” 9.

„Légköri oxigén” 10.

2. Vízbontó csoport „A levegő hidrogénből és oxigénből áll.”

Az e csoportba tartozó tanulók csekély százaléka a hidrogén és a nitrogén szavak hasonlóságából adódóan tévedésből keveri össze a két anyagot. Ez inkább a 7-8. évfolyamon képzelhető el. A tanulókkal történt tisztázó beszélgetések során derült ki, hogy a hidrogénnel történő órai (esetleg tanulói) kísérletezés révén mélyen bevésoódik a diákokba a hidrogén és a nitrogén különbözősége. Előfordul több olyan válasz is, ahol a hidrogént és a nitrogént együtt említik, ami azt mutatja, hogy a diák tisztában van a két elem különbözőségével.

Például:

„Oxigén O + hidrogén H , 78% O , 21% H , 1% nemesgázok” 7.

„Hidrogén és oxigénatomból H_2O ” 8.

„2 hidrogén és 1 oxigén” 8.

„Hidrogénmolekulából és oxigénből” 11.

3. Lélegző-fotoszintetizáló csoport „A levegő oxigénből és széndioxidból áll.”

Itt a levegő, mint az élethez és az égéshez szükséges anyag jelenik meg. A tanórai egyszerűsítés során is gyakran ilyen pontatlanság jelenik meg: „A beszívott levegő oxigént tartalmaz, a kilélegzett széndioxidot”. Ennél a csoportnál is gyakori a víz megjelenése, ami köthető akár a légzés másik termékéhez.

Például:

„Oxigén, por, széndioxid” 7.

„Oxigén O (széndioxid CO_2 , szénmonoxid CO stb.” 8.

„ O_2 , CO_2 , H_2 ” 9.

„ H_2 , O_2 , CO_2 , CO , H_2O stb.” 10.

„Oxigén, hidrogén, széndioxid” 8.

4. Tudományos szemléletű csoport „A levegő oxigénből és nitrogénből tevődik össze”

A csoport alkotói azok a diákok, akik a hivatalos, tanórán elhangzó elképzelést jelenítették meg válaszukban. Néhányan precízebb választ adnak, és kitérnek még a széndioxid, és/vagy a nemesgázok jelenlétére is. Itt is megjelenik hibaként a por vagy vízgőz említése.

Például:

„ O_2 , N_2 nagyrészt (+ CO_2 , nemesgázok, por, stb. < 1%)” 11.

„ O_2 , N_2 , H_2O -gőz, H_2 , nemesgázok, CO_2 , por, szennyeződés” 9.

„Nitrogén N , oxigén O , CO_2 , egyéb pl.: CO_2 0,03%, homok” 8.

„ O_2 , N_2 + egyéb anyagok” 7.

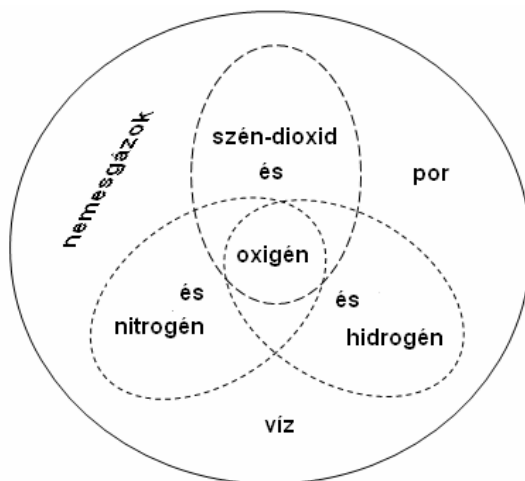
A felsorolt tanulói válaszok között láthatók olyan példák is, melyek mutatják, hogy ezek a kategóriák nem merevek, nem átjárhatatlanok. Találhatók olyan válaszok is, amelyek két kategória egyesítésével írhatók le például: O_2 , N_2 , H_2 vagy O_2 , CO_2 , H_2 .

A válaszokban gyakorta jelenik meg kísérőként a víz(pára), por, szennyeződés. Ezek az anyagok nem tartoznak a levegő molekuláris szinten értelmezett összetevői közé. Az ezt válaszolóknak többsége empirikus tapasztalatait vetíti ki a levegő összetételére, vagy tanári tévképzet átadása történt. A nemesgázok szerepeltetésében nem lelhető fel szabályosság, bármelyik kategória összetevői mellett megemlítették a diákok.

XVIII. táblázat A levegő összetételével kapcsolatos tanulói megoszlás az egyes tiszta és néhány kevert kategória esetén

	csak oxigén	csak oxigén és CO_2	csak oxigén és hidrogén	csak oxigén és nitrogén	oxigén nitrogén és CO_2	nitrogén és hidrogén együtt (O_2 , CO_2 , nemesgáz)	oxigén CO_2 hidrogén és víz
7. évf.	4,1%	5,8%	1,2%	21,0%	29,2%	5,2%	7,0%
8. évf.	8,4%	3,0%	7,2%	31,3%	38,5%	10,8%	3,0%
9. évf.	11,7%	2,2%	7,3%	20,6%	30,9%	10,3%	5,1%
10. évf.	9,6%	0,7%	8,1%	22,8%	38,9%	15,4%	3,7%
11. évf.	6,9%	1,7%	7,8%	26,1%	46,9%	17,4%	1,7%

Ezek a tanulói koncepciók legegyszerűbben a 44. ábrával szemléltethetők. Közepponban az oxigén áll, ez maga a leegyszerűsítő csoport, illetve minden más elmélet közös metszete. A három másik elképzelést egy-egy ellipszis határolja. A szaggatott vonal azt szimbolizálja, hogy a fő kategóriákon kívül rekedt összetevők (por, nemesgázok, víz) „beszivároghatnak” egy-egy elképzelésbe anélkül, hogy lényegében módosítanák azt. A főbb kategóriák közös metszetében találhatók a kevert modellek.



39. ábra Tanulói elképzelések a levegő összetételével

10.3.3 A levegő összetételének változása a diákok válaszaiban

A további vizsgálatom arra irányult, hogy a tanulók milyen összetevőket jelöltek meg a levegő felépülésénél. A hat leggyakoribb összetevő az oxigénmolekula, nitrogénmolekula, hidrogénmolekula, szén-dioxid-molekula, nemesgáz atomok és vízmolekula volt. Az értékelés során nem volt jelentősége annak, hogy igaz-e a diák azon válasza, hogy a levegő tartalmaz hidrogént, vagy hogy szintaktikailag helyesen jelölte-e az illető alkotót; pusztán az került rögzítésre, hogy megemlítette-e az illető anyagot. Amennyiben a tanuló megjelölte valamely összetevőt válaszában, az illető összetevő a kódtáblázatban 1 értéket, amennyiben nem említette meg, 0 értéket kapott.

Feltételeztem, hogy a megemlítés sorrendje kapcsolatban áll a tanuló kognitív rendszerében történő tárolással, az illető összetevőnek tulajdonított jelentőséggel. A feldolgozással kapott eredmények jelen esetben nem tudáshierarchiát, nem a fogalom komplexitását tükrözik majd, hanem egyfajta felidézési láncot jelentenek, ahol a sorrendiségnek van fontos szerepe. Így egy-egy diagram jelen esetben csak azt mutatja meg, hogy a levegő komponensei milyen rögzültségi sorrendben követik egymást, melyek azok, amelyek egy-egy asszociációs láncra fűzhetők. Minél közelebb van valamely alkotó a gyökérelem(ek)hez, annál fontosabb a diákok számára, annál hamarabb jut eszébe.

Egy-egy évfolyam modellezése az elméletek átfedése, és a közös elemek miatt is csak több diagrammal volt megoldható. A mérési eredmények szerint évfolyamonként kettő, kilencedik évfolyamon három

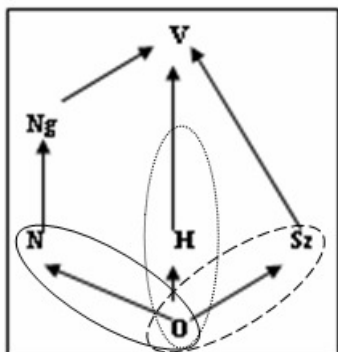
Hasse-diagram adta vissza a levegő összetételéről vallott tanulói elképzeléseket, ezeket mutatja be a XIX. táblázat. Négy évfolyam esetén (7., 8., 10., 11.) a gráfban felfedezhetők voltak a levegő összetételével kapcsolatosan már említett főbb tanulói kategóriák (leegyszerűsítő, vízbontó, lélegző, tudományos). Némely kategória esetén a bekövetkező változás is jól követhető volt.

XIX. táblázat A legjobb illeszkedést adó Hasse-diagramok évfolyamonként

7. osztály	8. osztály	9. osztály	10. osztály	11. osztály

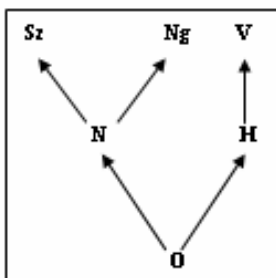
Jelmagyarázat:

O: oxigén	N: nitrogén	H: hidrogén	Sz: szén-dioxid	Ng: nemesgázok	V: víz
------------------	--------------------	--------------------	------------------------	-----------------------	---------------

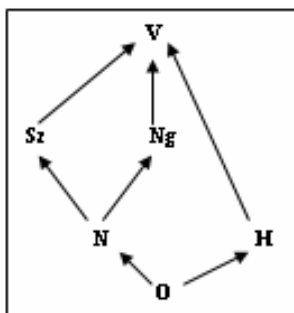


40. ábra Az 1.sz. Hasse-diagram és az általa megjelenített alapszoportok

A víz (V) a sorozat végén jelenik meg minden csoport esetén. A vízbontó és a lélegző csoport esetén többnyire harmadik összetevőként jelenik meg a víz, de ez a tudományos csoport tagjai között is előfordul.



41. ábra A 2.sz. Hasse-diagram



42. ábra A 3.sz. Hasse-diagram

A csak hetedik és nyolcadik évfolyamra vonatkozó diagramon (1. sz. Hasse-diagram) fedezhető fel a négy alapszoport. Ebből a leegyszerűsítő csoport – akik számára a levegő csupán az oxigént jelenti – maga a gyökérelem (O).

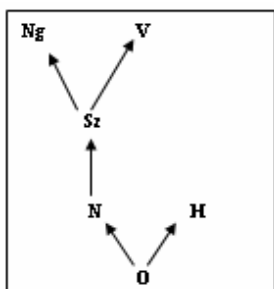
A vízbontó csoportot az oxigén(O) → hidrogén (H), a lélegző csoportot az oxigén(O) → szén-dioxid (Sz), a tudományos szemléletű csoportot az oxigén (O) → nitrogén (N) ág jelenti.

Látható, hogy a nemesgázokat (Ng) a tudományos szemléletű csoport említi meg harmadikként, míg a másik két (három) csoport esetén ez nem ennyire számottevő. A víz (V) a sorozat végén jelenik meg minden csoport esetén. A vízbontó és a lélegző csoport esetén többnyire harmadik összetevőként jelenik meg a víz, de ez a tudományos csoport tagjai között is előfordul.

A további diagramokból kitűnik, hogy 10. évfolyamra a lélegző csoport gyakorlatilag megszűnik, egyik diagramon sem bukkan már elő ennyire nyilvánvalóan. Ez egybecseng az XIX. táblázat adataival.

Az összes évfolyamon – a 9. évfolyam kivételével – megtalálható a 2. sz. Hasse-diagram, amely csak a tudományos és a vízbontó csoportot (illetve a gyökérelem révén az egyszerűsítő csoportot is) mutatja. Látható, hogy a tudományos ág esetén történik egy elágazás. Ez a Hasse-diagramok olvasatában azt jelenti csupán, hogy a tudományos ág ezen alcsoportjának tanulói az oxigén és a nitrogén említése után ugyanolyan számban jelölték meg a levegő további alkotójaként a szén-dioxidot vagy a nemesgázokat, illetve ennél valamivel kevesebben jelölték meg mindkét anyagot egyidejűleg. De a víz náluk nem került be az előhívási sorba.

A 3. sz. Hasse-diagramot vizsgálva kitűnik, hogy a tizedik évfolyamon, a tudományos csoportnál következik be változás, megjelenik egy újabb elképzelés. Gyakorivá válik a víz megjelenése a felsorolt alkotók között, és a szén-dioxid és a nemesgázok után ez is felfűződik az előhívási sorba.



43. ábra A 4. sz. Hasse-diagram

A vízbontó csoportban láthatóan nem történik változás.

Tizenegyedik évfolyamra, amint az a 4. sz. Hasse-diagramon látszik, a helyes választ adók gráfjában a szén-dioxid nagyobb szerephez jut, köszönhető ez például a globális felmelegedésről szóló híradásoknak. A Hasse-diagramok

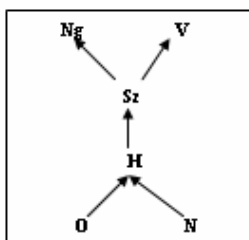
olvasatában ez azt jelenti, hogy a tudományos elképzelést vallók egyik csoportja az

oxigén–nitrogén– szén–dioxid –nemesgázok

vonulatot viszi tovább, míg a másik csoport az

oxigén – nitrogén – szén-dioxid – víz

előhívási sorozat alapján gondolkodik. De előfordul, bár kisebb számban az oxigén – nitrogén – szén-dioxid – nemesgázok – víz sorrend is.



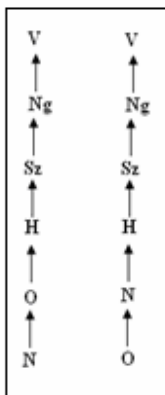
44. ábra Az 5. sz. Hasse-diagram

Ugyanakkor a vízbontó csoport továbbra is létezik, azaz „a hidrogéngáz a levegő alkotója” tévképzetet ötévnéyi oktatás sem tudta felülírni.

Az 5. számú diagramon nem válnak szét látványosan az alapcsoportok.

A kilencedik évfolyamon a levegő alkotói között első összetevőként a nitrogén és az oxigén körülbelül ugyanolyan gyakorisággal jelenik meg.

Ugyanakkor a hidrogénes tévképzet – a szorosan vett tudományos csoport tagjait kivéve – szinte mindenkire rátelepszik, és 2. vagy 3. alkotóként mindenki megemlíti.



45. ábra A 6-7. sz. Hasse-diagram

A kilencedik évfolyamon megtalálható, két, linearitást tükröző gráfban (6-7. sz Hasse-diagram) a különbség csupán a nitrogén és az oxigén említési sorrendjében van. Azaz körülbelül ugyanannyi diák jelöli meg elsőként alkotónak a nitrogént, mint amennyi az oxigént. Ez a két diagram emiatt (is) logikailag szoros kapcsolatban van az 5. sz Hasse diagrammal.

Az eredmények azt sugallják, hogy a tanulók nehezen dolgozzák fel, ha empirikus tapasztalataik nem egyeznek meg teljesen a tudományos állításokkal: hiába látják a levegőben a ködöt, párákat, porszemcséket, azok nem tartoznak a levegő molekuláris értelemben vett alkotói közé.

„A levegő hidrogén molekulákat (hidrogén gázt) tartalmaz” az egyik legstabilabb tévképzetnek bizonyul a diákok esetén. A tanulók 7-8 százaléka csak hidrogént és oxigént jelöl meg az alkotók között. Sokan az iskolában tanult hivatalos összetevők közé illesztik be ezt a naiv elméletből származó tudáselemet. Ennek a tévképzetnek három gyökere lehetséges:

- a hasonló hangzású hidrogén és nitrogén szavak keverése
- az arisztotelészi világkép megjelenése: eszerint egy anyag csak egyféle (halmaz)állapotban létezik, így az elpárolgó víz már nem is víz, hanem gáz.
- a víz képletének additív módon történő kezelése. Ha van a levegőben H_2O , akkor ezek szerint hidrogén is van benne (és persze oxigén is).

10.3.4 Egy fogalom rögzülésének kutatása

A levegő összetételével kapcsolatos tanulói válaszok között nagy gyakorisággal fordultak elő olyanok, amelyekben megjelentek ugyan a helyes válasz elemei, de nem érték el a tudományosan elfogadható szintet. Sok diák saját empirikus tapasztalatait fordította le a kémia szimbólumszintjének nyelvére, a levegő összetételével kapcsolatos előzetes elképzeléseit próbálta a hivatalos formalizmussal megfogalmazni. Mások eleve tévesen értelmezték a molekuláris szint szereplőit, azok jelölésrendszerét.

Vizsgálatom annak kiderítését célozta meg, hogy a diákok levegővel kapcsolatos elképzeléseit mennyiben befolyásolja az előzetes tudásuk, a köznapok nyelvhasználata, és milyen hatással van elképzelésükre az iskolai oktatás. Ehhez ismét a fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet módszerét használtam. A vizsgálat elméleti alapjának megteremtéséhez, a szempontrendszer kialakításához hozzájárult Saul és Kikas (2003) munkája. Elemzésükben jelenik meg az értékelésben is felhasznált *pszeudotudományos* fogalom. Ez olyan tanulói válaszok jellemzésére szolgál, amelyekben a diákok igyekeznek a hivatalos, elvárt formalizmussal válaszolni, de válaszaik tartalma az iskolai oktatást megelőző téves nézeteiket tükrözi, vagy a jelölésmódjuk, szimbólumhasználatuk nem felel meg a tudományosan elfogadottnak.

A válaszok tanulmányozása alapján a levegőről alkotott tanulói elképzeléseket három alapkategóriába tudtam elkülöníteni:

● Empirikus kategória (Továbbiakban jelölése: **E**)

Az ilyen típusú válaszokban a tanulók a makroszintű tapasztalataikat képezik le molekuláris szintre. A makroszint objektumait, az elemfogalmat használják fel magyarázatukhoz.

Például:

„[A levegő] *Nitrogénből és oxigénből áll.*”

„[A levegőt] *Gázok, szennyeződés és víz alkotja*”

● Pszeudotudományos kategória (Továbbiakban jelölése: **P**)

A válaszban érződik, hogy a tanuló tudományos jellegű, a hivatalos elvárásnak megfelelő választ kíván adni. Ehhez a molekuláris szint bizonyos elemeit, szimbólumait használja, de ezeket nem megfelelően, nem helyes aspektusban.

Például:

„[A levegő] *Oxigén és nitrogén atomokból áll*”

„[A levegő] *Atomokból áll*”

„[A levegő] *N, O, H*”

● Tudományosan helyes válasz (Továbbiakban jelölése: **T**)

A molekuláris szint szereplőinek és szimbólumainak helyes ismeretét jelenti.

Például:

„[A levegő] *Oxigén és nitrogén molekulákból*”

„[A levegő alkotói] *O₂, N₂*”

A tanulói válaszok szimpla tanulmányozásával, a hagyományos statisztika módszereivel nem dönthető el egyértelműen, hogy ez a pszeudotudományos ismeret milyen mértékben támaszkodik az empirikus és milyen mértékben az iskolai tudásra, hiszen a három alapkategória válaszai az összes lehetséges variációban előfordultak:

E,P kategória

Egyszerre jelennek meg a pszeudotudományos és az empirikus tapasztalatok elemei. Az ilyen választ adó diák tudásállapota, fogalmi berendezkedése az iskolai tudásból szerzett nem precíz ismeretekből és az empirikus tudás keverékéből áll. Az alábbi példákból látható, hogy milyen típusú választ adó diák sorolható ebbe a kategóriába:

„[A levegő alkotói] *N, H, O, nemesgázok*”

„[A levegő alkotói] *(oxigén, széndioxid) O atomokból*”

E,T kategória

A tanuló a molekuláris szint szereplőivel tisztában van, de még nem tesz egyértelmű különbséget a makro- és a molekuláris szint hasonló névvel jelölt

szereplői között, vagy makroszintű fogalmat (pl. por) sorol molekuláris fogalmak közé (molekula). Például:

„[A levegő alkotói] O_2 , CO_2 + nemesgázok, por”

„[A levegő alkotói] H_2 , O_2 , N_2 és por keveréke”

„[A levegő alkotói] Oxigén (21%), nitrogén (78%), egyéb (1% pl.: H_2)”

P,T kategória

Azok a válaszok sorolhatók ide, amelyekben a tanulók a molekuláris szint jelöléseit, szimbólumait már használják, de a bizonytalan esetekben még visszatérnek a tudományosságot sugalló, de helytelen jelölésekhez, szóhasználatához. Például:

„[A levegő alkotói] O_2 , N ”

„[A levegő alkotói] N 76%, O_2 , CO_2 ”

E,P,T kategória

A tanuló válaszában mindhárom alapkategória elemei megjelennek.

Például:

„[A levegő alkotói] O_2 + N + por + vízgőz + CO_2 ”

„[A levegő alkotói] O_2 , N , CO és más szennyeződések”

A válaszok megoszlását évfolyamonként a XX. táblázat mutatja:

XX. táblázat Az évfolyamonkénti tanulói megoszlás kategóriánként

Kategóriák	7. évf	8.évf	9. évf	10. évf	11. évf
Nincs, vagy értelmezhetetlen a válasz	45	19	19	11	10
E	51	58	34	35	31
P	19	19	6	17	9
T	36	48	41	47	29
E,P	6	3	3	3	1
E,T	7	11	16	7	19
P,T	7	4	11	7	15
E,P,T	0	4	6	9	3

Amennyiben a már ismertetett módszerrel elkészítjük az egyes évfolyamok válaszaiból adódó Hasse-diagramokat, az XXI. táblázatban rögzített eredmény adódik:

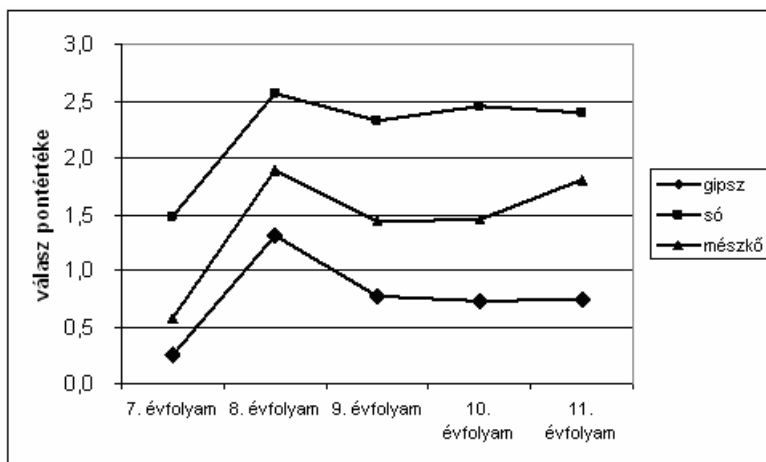
**XXI. táblázat A pszédotudományos kategória függését leíró
Hasse diagramok évfolyamonként**

7. évfolyam	8. évfolyam	9. évfolyam	10. évfolyam	11.évfolyam
E T P			E T P	
	P E T	P E T	P E T	P E T
	P E T			
Jelmagyarázat	E : empirikus	T : tudományos	P : pszédotudományos	

A hetedik évfolyamon a tudástér-elmélet Hasse-diagramjai nem mutatnak kapcsolatot a három tudástípus között, az egyes típusok egymástól elszigetelve bukkannak elő. A nyolcadik évfolyamon a pszédotudományos megközelítés egyaránt épül a mindennapokból hozott empirikus és az iskolában szerzett tudományos tapasztalatokra. Ezzel egy időben megjelenik az a szerkezet – amely a továbbiakban minden évfolyamon megtalálható –, ahol a pszédotudományos kategória egyértelműen az iskolában szerzett ismeretekre épül. A diagram lényegében megerősíti azt a szakirodalomban fellelhető ismeretet (*Gabel, 1999; Johnstone, 2000; Goodwin, 2000; Taber, 2001; Bailey és Garratt, 2002; Saul és Kikas, 2003; Sirhan, 2007*), hogy a tanulói válaszokban megjelenő hibák többsége az iskolai oktatás során felületesen elsajátított molekuláris szint értelmezéséhez köthető. Elsődlegesen nem az oktatás által prezentált, az empirikus tapasztalatoknak ellentmondó ismeretek jelentenek problémát diákjaink számára, tehát hogy például a por nem szerepel a levegő molekuláris alkotói között, vagy hogy a levegőben nincs hidrogénmolekula. A probléma oka, hogy a molekuláris szint résztvevőit nem képesek diákjaink megfelelően kezelni, még az olyan viszonylag egyszerű rendszerben sem, mint amilyen a levegő. Összezavarodnak a makro- és molekulaszintű fogalmak használatában, nem különül el számukra az atom- és molekulafogalom, így nincsenek tisztában például a molekulák jelölésmódjával sem.

10.4. Az ionkötésű anyagok ismerete

Az ionos összetevőket tartalmazó csoport három képviselője közül a tanórán legtöbbet szerepeltetett, legtöbbször hivatkozott asztali só összetevőinek ismertsége érte el a legjobb eredményt (46. ábra). De még ennek ismertsége is elmaradt a gyémánt (37. ábra) vagy a levegő összetevőinek ismertsége (38. ábra) mellett. A gipsz és a mészkő oktatásunkban kevesebb szerephez jut, összetevőit inkább csak az összetett ionok példájakor mutatják be. Ennek következtében az a tanuló tudott helyes választ adni, akibe bevésődött azon ismeret, hogy ez a két anyag is ionokból épül fel. A három ionos kötésű képviselő relatív ismertsége az évfolyamok során közel hasonlóan változik.



46. ábra Az ionos összetevőjű anyagok komponenseinek ismerete (az elérhető maximális pontszám: 5)

10.4.1 A kémia három szintjének kapcsolata a NaCl példáján keresztül

Az asztali só és a NaCl-oldat összetevőire is hasonló típusú tévképzetes válaszok születtek. Ezeknek a válaszoknak az értelmezését a 3. sz. mellékletben megadott, 2004-es felmérés rajzos válaszai segítik.

A tanulói válaszok elemzés során a következő főbb csoportokat lehetett elkülöníteni az asztali só és a sóoldat összetevőinek ismeretére:

● EGYSZERŰSÍTŐ CSOPORT

A csoport tagjai közé sorolhatók azok, akik számára a só és a nátrium-klorid ugyanaz, egy név csupán. Ebbe a csoportba tartoznak azok is, akik az összetevők közé a nátriumot és klórt mint elemet sorolják, vagy a nátriumatomot és klóratomot.

Például: *[A NaCl oldat] "Nátrium és klór oldata" 8.*

[A NaCl oldatban található részecskék] „Nátrium, (Na) klór (Cl), hidrogén (H₂), oxigén (O)" 11.

Mivel a nátrium-klorid elnevezésben a nátrium esetén nem jelöljük azt, hogy ionról van szó, míg a klór esetén igen, a diákok ezt szó szerint értelmezik, és a só alkotói közül a nátriumot atomként, az aniont pedig kloridként szerepeltetik.

Például: *„Nátriumot és kloridot" 7.*

„Nátrium, kloridion, (hidrogén, oxigén) vízmolekula" 10.

„Na- atomot és Cl⁻ - iont" 10.

Sok diák számára ismeretes az a dolog, hogy a NaCl ionos kötésű, ionokat tartalmaz, de ez csak annyit jelent számukra, hogy a NaCl maga ionos.

„Nátrium-klorid ionokat, azaz konyhasó" 7.

„NaCl ionokat + H₂O molekulákat" 8.

„Nátrium-klorid ionokat" 11.

● MOLEKULÁRIS CSOPORT

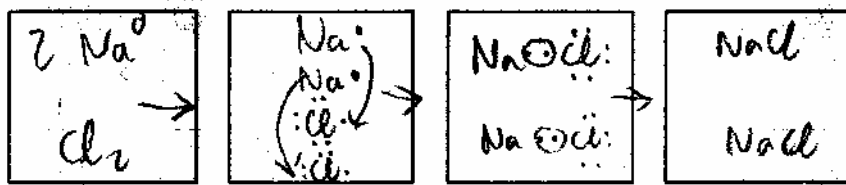
Hazánkban is nagyon gyakori tévképzet, hogy a tanulók molekulaként értelmezik a NaCl jelölést. A nátriumatom és a klóratom között kovalens kötést feltételezve, bináris molekulájú vegyületnek tekintik a NaCl-t.

Például: *„Nátriumot és klórt. Ez egy vegyület molekula. Mivel nincs index minden atomból csak egyet" 7.*

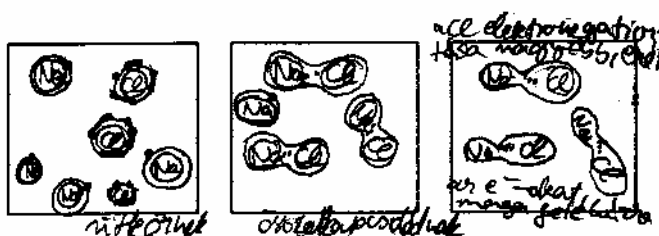
„A NaCl azaz a konyhasó molekulákból épül fel" 8.

A NaCl keletkezéséről készült rajzokat megvizsgálva hasonlóság fedezhető fel a magyarázatokban a HCl szintézis molekuláris szintű magyarázatával

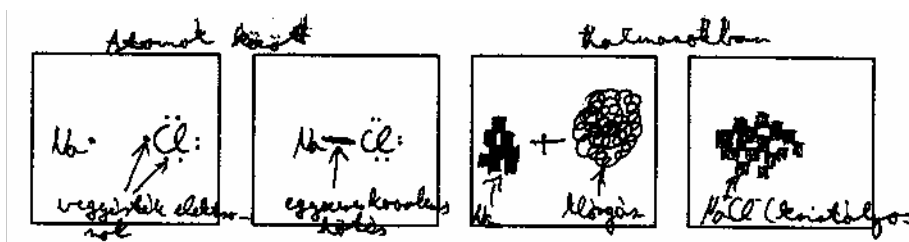
(47., 48., 49. ábra). A hidrogén és a nátrium azonos főcsoportbeli helye és a már tanult kovalens kötés létrejötte, valamint az, hogy a hidrogén és klór közötti reakciót gyakorta atomok közötti reakcióként magyarázzák, teremtheti meg azt az asszociációt a tanulóknál, hogy ezt a reakciót is hasonló módon értelmezzék.



47. ábra 12. évfolyamos diák rajza



48. ábra 10. évfolyamos diák rajza



49. ábra 11.-es, kémia fakultációs diák rajza

A 49. ábra rajzát készítő 11. évfolyamos – kémia fakultációs – diák az első két képkockán atomi szinten mutatja be a keletkezést, kihangsúlyozva a kovalens kötet, majd bemutatja ezt halmazok szintjén is. Itt a megjelenő kristályos só mellett már ionokként jegyzi az összetevőket. Atomi szinten kovalens kötésként magyarázza a képződést, míg makroszinten már ionos kötéssel.

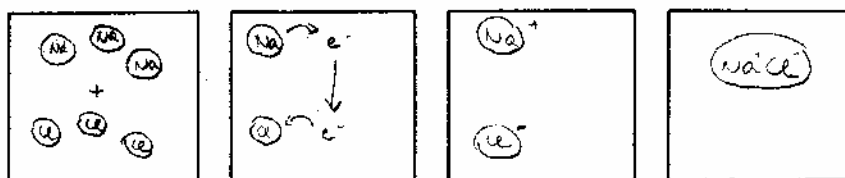
A következő alcsoportba azok a diákok tartoznak, akik ionkötés kialakulásaként értelmezik a lezajló folyamatot. Aniont, valamint kationt rajzolnak, de csak egy kötetst feltételeznek közöttük. A kation és anion ionkötéssel kapcsolódik NaCl molekulává. Sokan – a szakirodalommal megegyezően – úgy gondolják, hogy ezek a NaCl molekulák az oldószer

hatására esnek szét ionjaikra. Akár egyfajta dinamikus egyensúly is elképzelhető a disszociált és a molekuláris NaCl között, mint ezt a következő 11. évfolyamos diák válasza sugallja.

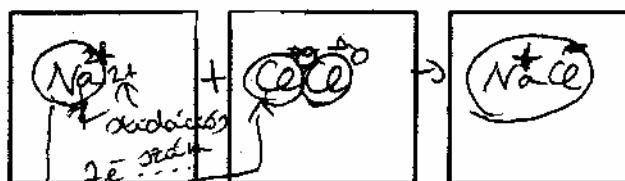
„Nátriumionokat és kloridionokat és NaCl molekulákat” 11.

„ Na^+ és Cl^- ionokat - a stabil szerkezethez a Na lead, a Cl felvesz egy elektront, így kiegészítve egymást molekulává válnak” 7.

„ $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ - NaCl molekulákat” 10.



50. ábra 10. évfolyamos diák rajza



51. ábra 10. évfolyamos diák rajza

Sztöchiometriai problémák

Mivel tanórai szinten többnyire magányos atomok, molekulák között „zajlik” a folyamat, nem pedig nagyon sok részecske között, ennek következtében nehéz elmagyarázni az ionrács részecskéit összetartó erőt, valamint azt értelmezni, hogy mi lesz a reakcióban magányosan maradt klórral (52. ábra):



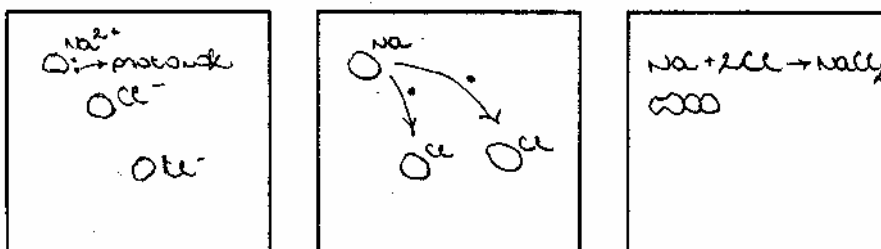
52. ábra 10. évfolyamos diák rajza

A konyhasó szintézisének sztöchiometriája zavarba hozza a diákokat, akik sok esetben a keletkezésből vezetik vissza, hogy vajon milyen részecskékre is bomolhat a nátrium-klorid. Ennek során problémaként merül fel, hogy a klór kétatomos molekulákból áll. Ennek feloldására többen a nátriumiont is kétszeres pozitív töltésűnek nyilvánítják.

„Kétszeresen pozitív nátriumot, és kétszeresen negatív klórt” 8.

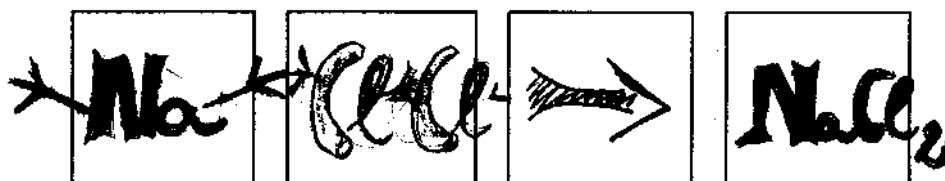
„Na és Cl ionokat, $\text{Na}^{2+} + \text{Cl}^{2-} \rightarrow \text{NaCl}$ ” 8.

„ Na^{2+} kation, Cl^- anion” 8.



53. ábra 9. évfolyamos diák rajza

Gyakori hiba a reakciótermék additív módon szerepeltetése reakcióegyenletekben is (53., 54. ábra).



54. ábra 10. évfolyamos diák elképzelése a reakcióról

● ONTOLÓGIAI CSOPORT

Az előző csoportnál már megjelent, hogy sok tanuló gondolkodik úgy, hogy amiből keletkezik a nátrium-klorid, azzá is bomlik el. Ennek az elvnek egy diák általi megfogalmazása a következő:

„Na és Cl -ből keletkezik, de a Na és Cl is vegyületekből szakad ki, hogy egyesüljenek, mikor feloldjuk a konyhasót akkor disszociált Na^+ és Cl^- ionokra (nátriumion és kloridion) keletkezik” 11.

A csoport a legegyszerűbb változatát azon tanulók jelentik, akik a szintézis összetevőinek felsorolásából állítják elő a NaCl-ot vagy a NaCl-oldat kémiai összetevőit, gyakran a keletkezés egyenletével válaszolva a kérdésre:

„ $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$, Na^+ és Cl^- ionokat tartalmaz” 8.

„Na (atom, fém) + Cl_2 (molekula, gáz) $\rightarrow \text{NaCl}$ ” 7.

„(Nátrium-klorid) „konyhasó”, klórgáz, nátrium” 7.

„A NaCl - oldat Na és Cl reakciója képen jön létre” 11.

Az előbbieknél bonyolultabban, de ugyanezt az elképzelést tükrözik ezek a válaszok:

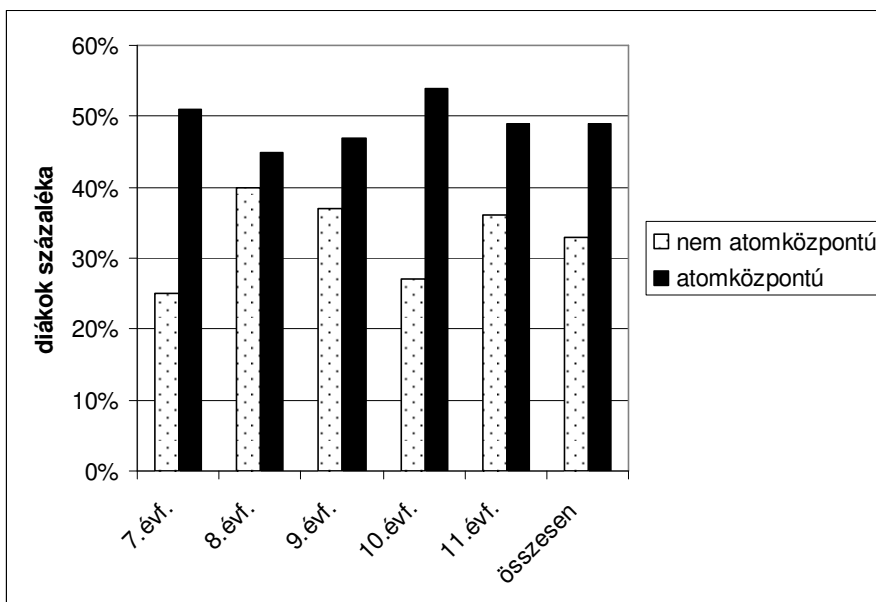
„Nátriumot és a klorid pedig hipermangánt és sósavat” 7.

„ $2\text{Na} + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{H}_2$ atomokat tartalmaz” 8.

„ $\text{H}_2\text{O} + \text{Na} + \text{Cl} = \text{NaCl}$ a hidrogén eltávozik” 11.

Kémiaoktatásunk túlzott atomközpontúsága is okolható az ionkötéssel, ionos alkotókkal kapcsolatos hibás tanulói válaszokért. Környezetünkben az atomok a többi fajta kémiai részecskéhez mérten csak elhanyagolható mértékben találhatók. Amennyiben a molekulák és az ionok nagyobb hangsúllyal, önálló és nem származtatott entitásként jelennének meg a tananyagban, valószínűleg kevesebb lenne a velük kapcsolatos tévképzet. Jelenleg oktatásunkban a molekulák atomokból jönnek létre, és az ionokat is (kezdetben) az atomokból vezetjük le. Így a diákok előszeretettel jelenítik meg az atomokat olyan anyagokban is, amelyek ionosak vagy akár molekulárisak.

A felmérőlap (2.sz melléklet) 7. feladata azt vizsgálta, hogy a magyar diákok az anyagi világ felépülését mennyire atomközpontúan értelmezik. A hazai vizsgálat eredménye (55. ábra), megegyezik a nemzetközi tapasztalatokkal (Taber, 2003), tanulónk az anyagok felépülésében az atomoknak tulajdonítanak központi szerepet, ezekből származtatják a molekulákat és ionokat is. A molekula- és ionfogalomra kapott eredmények erre már utaltak, de a 7. feladat egész diákpopulációra kapott (49% atomközpontú – 33% nem atomközpontú) eredménye egyértelműsíti ezt az ismeretet.



55. ábra Az anyag felépülésében atomközpontú, illetve nem atomközpontú szemléletet vallók megoszlása évfolyamonként

11. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

11.1. A tanulói fogalomdefiniálással kapcsolatos eredmények

- A felmérés tanulói definícióinak nagy hányada nem felelt meg a definiálás formai követelményeinek. Sok volt a hiányos definíció, amelyekből hiányzott a besoroló fogalom vagy a viszony; sokszor a fogalom neve sem szerepelt. Ez egyrészt arra utal, hogy a diákok nincsenek tisztában azzal, mit is jelent definiálni valamit, másrészt a hivatalos definícióból csak bizonyos fontosnak tulajdonított részeket jegyeztek meg.
- A definíciókból egyértelműen kitűnt, hogy az első két évben nem sikerült elsajátítani megfelelően a kémiai szakzsargont, így nagyon gyakran a köznapi élet szókincséből származó szavakkal próbálták meg helyettesíteni a hiányzó szakszavakat.
- Általánosságban igaz, hogy az elsőként rögzített definíció rögzül a legjobban, és az a módszer, hogy a későbbiekben a tankönyvek (tanárok) a tanulóra bízzák a fogalom kibővítését, kiterjesztését, nem hatékony.
- A legsikeresebbnek a legrövidebben megadható definíciók minősültek (pl.: *ion*, *anion*, *kation*). A definiálás sikeressége ugyanakkor nem volt összhangban a definíció tartalmának megértésével.
- Legnehezebben definiálhatók azok a fogalmak voltak, amelyeket a tankönyvek (tanárok) többnyire nem definiáltak, így a tanulók a szóösszetétel tagjaiból próbálták meg levezetni jelentését (pl.: *elemmolekula*, *vegyületmolekula*, *összetett ion*).
- A fogalmak definiálásában többnyire a 10. évfolyamos tanulók voltak a sikereesebbek, nem pedig a legtöbb kémiai ismerettel rendelkező 11. évfolyamosok.
- A fogalmak definiálásánál felbukkanó értelmezési problémák egyértelműen kapcsolatba hozhatók a tankönyvekben található definíciók hangsúlyeltolódásaival, a fogalom bevezetésének módszertani buktatóival.
- Egy, ezidáig a szakirodalomban nem szereplő – a magyar nyelv sajátosságához kötődő – félreértelmezést (tévképzetet) sikerült feltárni. Ez az *elemi* szó köznapi értelmezéséhez kötődik. A szót a diákok az *alapvető*, illetve az *elemből képződött* szó szinonimájaként használják a definícióalkotásuk során.

11.2. Az atomfogalommal kapcsolatos eredmények

- Az atomfogalomra adott definíciók tartalmi megoszlása az évek során alig változik. A tanulók ~50%-a a kezdeti –az atom az anyag legkisebb (kémiaileg oszthatatlan) részecskéje– atomdefiníciót adta. ~20%-nyi diáknak nem volt értékelhető elképzelése az atom fogalmáról. A közel 30%-nyi diák pedig komplex definíciót adott, amelyben megemlítette az atom összetevőit, illetve kitért valamely atommodellre.
- Az atomdefiníciók leggyakoribb hibája az atom elemi részecskének nyilvánítása volt. A 11. évfolyamra már a tanulók több mint negyede így vélekedett.
- A fogalom fenomenográfiai vizsgálata szerint a diákok három fogalomalkotó alapkategória kombinációiból állították össze definícióikat. Ezek:
 - 1, Az anyag építőegysége pl.: „Az atom az anyag legkisebb részecskéje.”
 - 2, Az atom alkotói típusú definíció pl.: „Az atom protonból, elektronból és neutronból álló semleges részecske.”
 - 3, Az atom modellezése típusú definíció pl.: „Az atomot atommag és elektronfelhő alkotja.”
- A jellemző tanulási útvonalukat kezdetben az $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ sorrend jellemezte, amelyről tizenegyedik évfolyamra áttértek a $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$ sorrendre.
- A fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet alapján kapott modellek azt mutatják, hogy a hetedik évfolyamon egy olyan szerkezet rögzül, ahol az atom mint építőegység különválik az atom alkotóitól, azok modellként történő elképzelésétől. 8. évfolyamon kezdődik meg egy látványos átrendeződés a fogalomalkotók között, amely átrendeződés végül olyan szerkezettel zárul, amelyben az atom modellként való szerepeltetése kerül előtérbe.

11.3. A molekulafogalommal kapcsolatos eredmények

- A diákok a molekula definíciójában nem tértek ki az atomokat összetartó erőre, azokat atomcsoportként, „összeragadt egységként” kezelték. Pl.: „[A molekula] Több atomból álló egység”.

Többen nem tudták értelmezni a kovalens kötést, magát a kötést is fizikai egységként kezelték. Pl.: „[A molekulák] Atomokból és kovalens kötésekéből állnak”.

- Az évfolyamokat követve egyre növekedett azok száma, akik a molekulán belüli kötést a kovalens kötés kárára elsőrendű, illetve másodrendű kötésként vagy ionos kötésként értelmezték.
- A fogalom fenomenográfiai vizsgálata szerint a diákok három fogalomalkotó alapkategória kombinációiból állították össze definícióikat. Ezek:
 - 1, A molekula egy részecske pl.: „Összetett kémiai részecske.”
 - 2, A molekulát atomok alkotják pl.: „Több atomból áll.”
 - 3, A molekulát (kovalens) kötés tartja össze pl.: „Kovalens kötés által létrehozott részecske.”
- A jellemző tanulási útvonalaikra mindvégig a $2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ sorrend adódott, ami azt mutatja, hogy a fogalom szerkezetében nem várható lényeges változás.
- A fenomenográfiával kombinált tudástér-elméletből származó eredmény szerint a hetedik évfolyam atomfogalomra épülő molekulafogalma (atomokból tevődik össze a molekula részecskéje, és az atomok közti kovalens kötés tartja össze a részecskét), a nyolcadik évfolyamon átrendeződik. Ekkor a molekula, mint kémiai részecske fogalma elkülönül a molekula létrejöttétől és alkotóitól. A 11. évfolyamra viszont a diákok visszatérnek az atom fogalmára építő definícióhoz.

11.4. Az ionfogalommal kapcsolatos eredmények

- Az ion definiálásának sikeressége a hetedik évfolyamon a legrosszabb. Ennek egyik valószínű oka, hogy ekkor még az ionfogalom megértéséhez szükséges fizikai alapok hiányoznak.
- A diákok számára az ion fogalma a töltöttség szinonimája. Többekben az ion szó magát a vegyjel sarkában megjelenített töltésjelet jelenti.
- A hiányos definíciók leggyakoribb hibája a kémiai jelző elmaradása volt a részecske szó előtt, pl.: „Töltéssel rendelkező részecske”.
- A tanulók közül többen egybemosták az egyszerű és az összetett ionok keletkezésének folyamatát, amely így helytelen definíciót eredményezett. Pl.: „[Az ion] Atomokból keletkezik elektron vagy proton leadással/felvétellel.”
- A fogalom fenomenográfiai vizsgálata szerint a diákok három fogalomalkotó alapkategória kombinációiból állították össze

definícióikat. Ezek:

- 1, Az ion egy (kémiai) részecske pl.: „*Kémiai részecske.*”
 - 2, Az ion töltéssel rendelkezik pl.: „*Megmutatja, hogy az egyes elemeknek milyen töltése van.*”
 - 3, Az ion keletkezése, ionkötés létrejötte pl.: „*Elektron vagy proton leadásával jön létre.*”
- A jellemző tanulási útvonalukat kezdetben az 1→2→3 sorrend jellemezte, amelyről már nyolcadik évfolyamon áttértek a 2→1→3 sorrendre, ami ezután már változatlan maradt.
 - A fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet eredménye szerint a hetedik évfolyamon az ion mint kémiai részecske jelenik meg, ennek van töltése, és ez a részecske elektronfelvétellel vagy -leadással keletkezik. Ez a tudásszerkezet azután átmeneti állapotokon keresztül úgy alakul át, hogy az ion töltése válik meghatározóvá.

11.5. A kémiai részecskék elektromos töltésével kapcsolatos eredmények

- Annak megértése, hogy mit jelent egy részecske töltöttsége, mikor semleges egy részecske, különösen a hetedik évfolyamon jelent problémát.
- A tanulók ~10%-a egészen a 9. évfolyamig nem tudta helyesen értelmezni, hogy miként lehet semleges az atom, ha benne pozitív és negatív töltések is vannak.
- A hetedik évfolyamos diákok 50%-a hibás választ adott a molekula töltésére, és a további évfolyamokon is csak a diákok ~70%-a ismerte a helyes választ. A hibás válaszadás elsősorban a dipólus molekulák helytelen ismeretéből adódik.

11.6. A kémiai szimbólumok ismeretével kapcsolatos eredmények

- A kémiai szimbólumok ismertsége jónak mondható, a diákok sikerrel ismerték fel az alapvető kémiai részecskék szimbólumait. A tanulók többsége a szimbólumok jelentését részecskeszinten értelmezte: *H*: hidrogénatom; *H₂*: hidrogénmolekula; *H⁺*: hidrogénion. Tíz százalék alatti azon diákok aránya, akik a szimbólumok jelentésénél kitértek annak mennyiségi jelentésére is.
- A leggyakoribb hiba volt, hogy a szimbólum jelentése a periódusos rendszerbeli névre korlátozódott csupán. Pl.: „*H*: hidrogén”.

- A hetedik évfolyamon 13%-nyi diáknak, míg a nyolcadik évfolyamon 15%-uknak jelentett problémát a szulfátion molekulaként vagy ionként történő besorolása. Ennek oka, hogy az indexek helyétől függően sorolták be az illető jelölést (a jobb felső index iont, a jobb alsó molekulát jelentett).

11.7. A kémia makro- és atomi szintjének kapcsolatára vonatkozó eredmények

- A molekuláris és a makroszint közötti korreláció gyenge, gyenge-közepesnek ($p < 0,001$) adódott. A tanulók helyesen definiálták ugyan az alapvető kémiai részecskék fogalmát, de arra a kérdésre, hogy makroszinten értelmezett anyagok (homok, levegő, só, gyémánt stb.) konkrétan milyen kémiai részecskéket is tartalmaznak, már helytelen válaszokat adtak.
- A leggyakoribb hiba az volt, hogy az alkotó entitás típusa helyett képlettel válaszoltak, vagy az atomi szintig csupaszították le a válaszaikat. Pl.: „A kristály cukrot C , H és O alkotja”.
- A legnagyobb problémát az ionkötésű anyagok (só, sóoldat, gipsz stb.) alkotóinak meghatározása jelentette. A feltárt tanulói tévképzetek megegyeztek a nemzetközi tapasztalatokkal.
- A levegő alkotóinál gyakori hiba volt, hogy hangsúlyozottan jelent meg a víz és a H_2 is.

11.8. A fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet

A feldolgozás során egyértelművé váltak az új módszer használatának jellemzői.

Előnyei közé sorolható:

- Felderíthető vele egy-egy fogalom strukturális felépülése.
- Kimutatható a fogalmi rendszer szerkezetében bekövetkező változás.
- Feltérképezhetőek a hibásan rögzült fogalom rögzülésének okai.
- Olyan finomszerkezetű változások is kimutathatók, amely változások a hagyományos statisztikai módszerek esetén láthatatlanok maradnak.
- A Hasse-diagramok alkalmazásával jól értelmezhető, képi megközelítést adja az eredményeknek.

Hátrányai:

- Két, magában is igen munka- és időigényes módszer kombinációját jelenti.
- A fenomenográfiai kategóriák megtalálása gyakorlatot igényel.
- A tudástér-elmélet matematikai alapját biztosító számítógépes program csak korlátozott itemszámú feladat értékelését teszi lehetővé.
- A program freeware jellege miatt az eredményként kapott gráfok manuális megalkotása 7 item után már meghalad(hat)ja az emberi szem és agy befogadóképességét.
- A gráfokat Hasse-diagramokká konvertáló számítógépes program hiányában az itemszám növekedésével exponenciális arányban megjelenő Hasse-diagramok közül a ténylegesen szerepet játszókat megtalálása csak kellő tapasztalat birtokában történhet.

Ezen gátló tényezők miatt a módszer mindaddig, amíg egy felhasználóbarát program meg nem születik a tudástér-elmélet eredményének grafikus értelmezésére, illetve ezen gráfok Hasse-diagramokká történő átalakítására, elsősorban a pedagógiai – módszertani kutatásokban kaphat igazán jelentős szerepet.

12. AZ ÉRTEKEZÉS JELENTŐSÉGE, JAVASLAT AZ EREDMÉNYEK ALKALMAZÁSÁRA

12.1. A módszertani változtatás szükség szerűsége

Munkámban megjelenő eredmények nem a magyarországi átlagdiákat jellemzik; a mintavétel alapjául ugyanis a középiskolai elítékezésnek tekinthető „kisgimnáziumok” szolgáltak. Kémiaoktatásunk tradicionális módszere a legjobb tanulókból álló mintán is csak közepesnek minősíthető eredményt ad a kémia alapfogalmait illetően. Tovább súlyosbítja a helyzetet, hogy a felmérés 2003-as elvégzése óta bekövetkezett az oktatásban két, a kémiát hátrányosan érintő változás – drasztikus óraszámcsökkenés és a „science” tantárgy térnyerése –, ami valószínűsíti, hogy az általam megjelenítettnél csak rosszabb eredménnyel zárulhat egy, a napjainkban elvégzett hasonló felmérés. Ilyen körülmények között a továbblépés módja az, hogy oktatási módszereinken oly módon változtatunk, hogy immár a kevesebb rendelkezésre álló idő alatt hatékonyabban oktathassunk. Láthatóan a kémiai fogalmak absztrakt jellege, egy, a diákok számára addig ismeretlen szemléletmód megismertetése, az új szaknyelv elsajátítása nagyobb odafigyelést, a jelenleg használatos módszereink átgondolását igényli. A XXI. században hatékonyabb kémiai oktatás csak akkor következhet be, ha szemléletmódváltás következik be az oktatásban. Ennek a szemléletmódváltásnak nem elsősorban a tartalomra, hanem az oktatási módszerekre kell hatással lennie.

Comenius 1657-es Didactica Magnájától datálódik annak a hitnek az írásos megjelenése, hogy egyszer eljuthatunk a MÓDSZER-hez, amellyel bárkinek bármi megtanítható. Ez nyilván lehetetlen, de az oktatásban időről-időre felbukkanó és lecsengő módszerek hozadékukkal hozzájárulnak módszereink finomodásához. A nálunk tizenegynéhány éve megjelenő konstruktivista szemléletmódú oktatás méltatlanul kevés hírverést kapott. Pedig elmélete és a hozzá kapcsolódó módszertan azt szemléletmódot nyújtja, amely segítene oktatásunkon. Elsősorban azzal, hogy felváltaná a tantárgy akadémikus szemléletmódját egy, a XXI. század tanulójának jobban megfelelő tanulócentrikus szemléletmóddal, ami nem idegenítené el a tárgytól diákjainkat.

12.2. A tanárképzés szerepe

A természettudományok tanításában a tanárok többsége azt a mintát, azt a logikai útvonalat követi, amelyben tanulóként neki is része volt. A módszer hatásosságának bizonyítéka számukra éppen az, hogy maguk is e

módszer révén jutottak a tudás birtokába; mi több, olyan sikeresen, hogy most rájuk hárul a feladat, hogy továbbörökötsék a megtanultakat, és áttételesen ugyan, de magát a módszert is. Az, hogy egy tanár olyan módszerrel oktatja a kémiát, ami csak kevés diák számára üdvöztető, ennek egyik oka, hogy a tanárok maguk is azon kevesek közül kerülnek ki, akik gyermekkorukban fogékonyabbak voltak az absztrakt fogalmak elsajátítására. Nem kerültek szembe olyan gátló tényezőkkel, mint a diákok többsége; ennél fogva, nem is igazán tudnak azonosulni a fontolva haladók gondolatmenetével, nem tudnak mit kezdeni a piaget-i konkrét szakasz biztonságához való ragaszkodással. A felmérés eredményeiből látható, hogy tanulóink fogalmai nem fejlődnek olyan gyorsan, nem történik meg a fogalom beépülése olyan sebességgel, mint ahogy a tankönyvek és a tanári magyarázat alapján az várható. A tanári türelmetlenségnek is köszönhető, hogy az új fogalmak bevezetésében inkább a „a diákra való rákényszerítés” a dominánsabb, mintsem annak a lehetőségnek a megadása, hogy az új fogalmat a diákok ütköztessék a már meglévő elképzeléseikkel. Dolgozatomban számtalan példával szolgáltam arra a tényre, hogy abból, hogy a diák használja a fogalmakat, szakszavakat, még nem következik, hogy érti is azok lényegét. A szóbeli feleltetést, az esszéjellegű számonkérést felváltó tesztjellegű feladatok, vagy rövid, egyszavas válaszokkal megoldható dolgozatok esetén nem derülnek ki a téves elképzelések, nem javítják ki a szaknyelvvvel kapcsolatos hibákat ezzel mintegy jóváhagyva a diák felületesen megtanult ismereteit.

Egy hosszabb ideje a pályán tevékenykedő tanár szemléletmód-váltásának – a tanulói tévképzetekhez hasonlóan – kicsi a valószínűsége. Nagyobb eséllyel nyerhetők meg a módszernek a tanárszakos egyetemisták, akik koruknál fogva is közelebb állnak a diákcentrikus szemléletmódhoz. Amennyiben a tanárképzésből frissen pályára kerültek már a konstruktivista szemléletmódot hordoznák, akaratlanul is ezt örökítenék át a jövő tanáira. Ehhez elsődlegesen a háttér megteremtése szükséges: a szakmódszertan-kutatók, konstruktivista szemléletmódú tantervfejlesztők, tankönyvírók, tanárok, trénerek bevonása közös munkába, a tanterv, a megfelelő szemléletmódú tankönyvek, munkafüzetek, tanári segédkönyvek elkészítésére.

Jelen munka eredményei akkor hasznosulhatnának a legjobban, ha az új szemléletű tanárképzésbe is bekerülnének a feltárt tanulói értelmezési nehézségek, és a leendő pedagógusok már annak ismeretében kezdenék meg munkájukat, hogy tisztában lennének módszereik buktatóival.

E válságból történő kilábalás nagyon időigényes folyamatnak tűnik, és már túl vagyunk a 24. órán. Egy napjainkban meginduló folyamat esetén is annak eredményeivel oktatásunkban csak évtizedek múltán lehet számolni.

13. SUMMARY

13.1. Results related to students' concept definition

- Large percentage of students' definitions did not meet the formal requirement of a definition. A lot of them were incomplete, which missed the classifying definition or the relationship; many times they missed the name of the concept. On the one hand it means that students do not know what *defining* means, on the other hand they memorise only some parts of a formal definition that they think to be important.
- The definitions indicated clearly that the first two years in their studies were not enough to acquire the appropriate chemical terms, so students tried to replace them with words taken from everyday life.
- Generally it is true, that the definition which is fixed the first is the strongest, but the method where the textbooks (teachers) entrust students to expand the definition alone is not efficient.
- The shortest definitions proved to be the most successful (ion, anion, cation). Even so, the successfulness of defining did not correspond with the understanding of the meaning.
- Concepts not defined by textbooks (teachers) seemed to be the most difficult to define, and students tried to deduce the meaning from the elements of the compound word (molecule of element, molecule of compound, polyatomic ion)
- Students in the 10th grade were more successful in concept definition than 11th graders who are supposed to possess more chemical knowledge.
- The rising interpretational problems at concept definitions are in close connection with the emphasized point of definitions given by the textbooks, and the methodical pitfalls of concept introduction.
- I managed to reveal one, language specific misinterpretation (misconception) in my work, which does not exist in scientific literature. It can be connected to the everyday interpretation of the Hungarian word '*elemi*'. The students use this word as the synonym of 'basic' and 'originated from an element'.

13.2. Results related to the definition of atom

- The content distribution of definitions has hardly changed in for years. Fifty percent of the students gave the following definition of

atom: '*Atom is the smallest (chemically undivided) particle of matter.*' 20 percent of the students could not give an appreciable idea about the definition of atom. Nearly 30 percent of students gave a complex definition including the components and mentioning one of the atom models.

- The most common mistake of the definition of atom is to declare the atom to be an elementary particle. Over a quarter of 11 graders defined it in this way.
- According to the phenomenographical analysis of the definition, the students' definition was made up of three definition forming basic categories, such as:
 - 1, Units of Matter, e.g.: '*Atom is the smallest particle of a matter.*'
 - 2, Constituents of Atoms, e.g.: '*Atom is a neutral particle, which consists of a proton, an electron and a neutron.*'
 - 3, Model of Atoms, e.g.: '*Atom consists of a nucleus and an electron cloud.*'
- At an early stage the critical learning pathways was $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, which later changed to $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$.
- Models worked out on the base of knowledge-space theory combined with phenomenography represent the fixation of a structure among the 7th graders, where the atom as a building unit separates from the components of the atom. In the 8th grade there is a spectacular reorganization among the components, where the reorganization finishes with a structure where the atom as a model is emphasized.

13.3. Results related to the definition of molecule

- At the definition of a molecule the students did not mention the chemical bonds among the atoms; they treated them as group of atoms, as a 'unit stuck together' E.g. '*(A molecule) is a unit consisting of more atoms.*' A number of people could not define covalent bond; they explained it as a material realization. E.g. '*(Molecules) they consist of atoms and covalent bonds.*'
- The number of students who recognised the bond inside the molecule rather as a primary bond, or secondary bond, or ionic bond instead of covalent bond increased grade to grade.
- According to phenomenographical analysis of the concept the students' definition was based on the combination of the three basic categories, where:
 - 1, Molecule is a particle, e.g. '*Complex particle.*'
 - 2, Molecule consists of atoms, e.g. '*It consists of more atoms.*'

- 3, Molecule is held together by covalent bonds, e.g. *'A particle formed by covalent bonds.'*
- The critical learning pathway was all along 2→3→1, which shows that significant change can not be expected in the structure of the concept.
 - The result of the knowledge-space theory combined with phenomenography shows that by the 8th grade the definition of molecule, which is founded on the atom emphasized definition of a molecule formed in the 7th grade has been rearranged. By this time the definition of a 'molecule as a chemical particle' is separated from the 'formation of a molecule' and 'its components'. By the 11th grade students return to the definition based on the definition of atom, though.

13.4. Results related to the definition of ion

- The successfulness of the definition of ion is the worst in the 7th grade. One possible reason is that students lack the necessary basic physical studies to understand the definition.
- For some students the definition of ion is the synonym of 'being charged'. For more of them the word ion means the indicated charge symbol in the corner of the chemical symbol.
- The most typical mistake of incomplete definitions was the absence of the attributive word '*chemical*' before the word '*particle*'. E.g. *'Particle with charge.'*
- Some of the students mix up the formation process of simple and polyatomic ions resulting in an incorrect definition. E.g. *'Composed of ions by electron or proton loss or gain.'*
- According to the phenomenographic analysis of the concept students' definitions were based on the combination of three concept-forming basic categories, such as
 - 1, Ion is a (chemical) particle. E.g. *'It is a chemical particle.'*
 - 2, Charge of ion. E.g. *'It shows, what the charge of an element is.'*
 - 3, The formation of ion, the formation of ionic bonds. E.g. *'Ions are formed by losing or gaining protons.'*
- The critical learning pathway at the beginning of the process was 1→2→3, which was followed by the order 2→1→3 by the 8th grade, and it has not changed later.
- According to the knowledge-space theory combined with phenomenography, in the 7th grade the ion appears as a chemical particle which has charge and this particle is formed by electron loss or gain. Getting through transitional stages this knowledge structure

passes into a linear knowledge-chain, where the charge of the ion is getting decisive, which is followed by ion as a chemical particle, and the next is the knowledge of ion formation.

13.5. Results related to the electrical charge of chemical particles

- To understand what the charge of a particle is, or when a particle is neutral can cause difficulties mainly in the 7th grade.
- Until the 9th grade 10 percent of the students were not able to interpret how an atom can be neutral, if it had positive and negative charges.
- 50 percent of the 7th graders gave the wrong answer regarding the charge of a molecule, and even among higher year students only 70 percent knew the correct answer. The wrong answers were due to the confusing effects of the dipole molecule.

13.6. Results related to the knowledge of chemical symbols

- The knowledge of chemical symbols looks promising; students successfully recognised the symbols of basic chemical particles. Most of the students interpreted the meaning of symbols on molecular level: '*H*: hydrogen atom' ; '*H₂*: hydrogen molecule', '*H⁺*: hydrogen ion'. The rate of students mentioning the quantitative meaning at the description of the meaning of a symbol is less than 10 percent.
- The most typical mistake was that the meaning of a symbol was limited only to the name given by the periodic table. E.g. '*H*: Hydrogen.'
- The classification of the sulphate ion as a molecule or as an ion caused problems for 13 percent of the students in the 7th grade, and 15 percent in the 8th grade. The reason for it was that students' classification was performed depending on the placement of the indexes (the right top index is an ion, while the right bottom index is a molecule).

13.7. Results related to the macro and molecular level of chemistry

- The correlation between the molecular and macro level was weak, or weak-modest ($p < 0.001$). Although the students appropriately described the definitions of basic chemical particles, they could not apply the acquired knowledge and name correctly the different entities of a given matter (sand, air, salt, and diamond).
- The most typical mistake was, that instead of giving the right entity type they answered by giving formulas, or they 'stripped-down' their answers to atoms. E.g. '*Sugar consists of C, H and O.*'

- To define the components of ion-bonding substances (salt, gypsum) caused the largest difficulties for students. The revealed misconceptions correspond to the international experiences.
- At the components of air the dominating presence of water and H_2 was a typical mistake.

13.8. Knowledge-space theory combined with phenomenography

The advantages of the method are the following:

- a) It is able to reveal the structural construction of a concept.
- b) It makes it possible to demonstrate the forthcoming changes in the structure of the conceptual system.
- c) The causes of the inappropriately fixed conceptions can be investigated.
- d) It makes it possible to point out fine-tuned structural changes, which are invisible in the case of traditional statistical analysis.
- e) By the application of Hasse diagrams the results can be interpreted and illustrated well.

The disadvantages:

- a) It means the combination of two methods, which are both work and time consuming.
- b) To find the phenomenographic categories requires the proper expertise.
- c) The computer program which serves the mathematical base of knowledge-space theory enables to evaluate tasks with limited pieces of item.
- d) As a result of the freeware program, the manual completion of graphs after 7 items can be beyond the human eye and brain capacity.
- e) In the absence of a computer program which would be able to convert graphs into Hasse-diagrams, the number of which increases in exponential rate by the growing pieces of item, it is a hard job to find the corresponding graphs, and the good choice requires certain experience.

As long as there is not a user-friendly program for the graphic demonstration of the results gained by knowledge-space theory, and to convert these graphs into Hasse-diagram and because of the above listed hindering factors, the method can be applied primarily in pedagogical-methodological researches.

13.9. The connection between the students' mistake and textbooks

The appearing interpretational difficulties of concept definition can obviously be brought into connection with the emphasis-shift of definitions, and the methodical pitfalls of concept formation given by textbooks.

13.10. The practical application of the results

The results of my research are a warning for those who work in chemistry teaching. They prove that the traditional method in chemistry education related to the teaching of basic chemical concepts led to unsatisfactory results even in the best sample taken from students studying in secondary grammar schools with 6 or 8 classes. Point out the fact that the abstract feature of chemical concepts, the introduction of a new, yet non known attitude and the acquirement of a new special terminology demand more attention and more careful examination of the applied methods. The only way to achieve more efficient chemistry teaching in the 21st century is the change of attitude in education. This change of attitude should have an influence on methods rather than content. Nowadays the introduction of the constructivist attitude looks to be the most promising. The theory with its supplementary methodology could help the most in teaching scientific subjects if it replaced the academic attitude by a student-centred attitude so as not to alienate students from chemistry.

The revealed interpretational difficulties of the concepts in mind, my research work can give guidance to the authors of textbooks, researchers of special methodology, and teachers alike. There is a warning; even the methods of long standing have their difficulties, so working as a teacher requires constant self-checking and methodical renewal. As far as there are interpretational problems relating to the most essential chemical concepts, we can not expect a positive attitude on our student's side.

To control the teaching process, a teacher must gather information about the student's conceptual structure at the beginning of the learning process, and later about the changes of the conceptual system during the teaching process. In possession of this information the teacher can form the lesson plan to find linking points to the students' conceptual system, and check the results of his own work. In my work I have presented the various applications of knowledge-space theory combined with phenomenography, and its successful application to answer different pedagogical-methodological questions. Besides the tested methods it is able to assist teachers and researchers to describe the process of changes in the interpretation of a given concept within a student group.

Most of the results of my research have already been introduced in pedagogical and methodological literature and conferences. Its further,

indirect application could ensue if the revealed interpretational difficulties on the student's side got into the curriculum of teacher's training, and future teachers could start their work by keeping the knowledge of the methodical pitfalls in mind.

14. IRODALOMJEGYZÉK

AAAS Project 2061 (2001) Science Literacy American Association for the Advancement of Science URL: www.project2061.org Elérh.:2006.október

ABRAHAM, M. R.; GRZYBOWSKY, E. B.; RENNER, J. W., MAREK, E. A. (1992): Understandings and Misunderstandings of Eighth Graders of Five Chemistry Concepts Found in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* **29**, (2), 105-120.

ALBANESE, A.; VICENTINI, M. (1995): Why do believe that an atom is colourless? Reflections about teaching of the particle

Idézi: Unal R., Zollman D. (1999): Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis URL: <http://perg/phys.ksu.edu/papers> Elérh.:2006.október

ARASASINGHAM, R.; TAAGEPERA, M.; POTTER, F.; LONJERS, S. (2004): Using knowledge space theory to asses students understanding of stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, **81** (10) 1517-1523.

BAILEY, P.D.; GARRATT, J. (2002): Chemical Education: theory and practice *University Chemistry Education*. Vol. **6**. 39-57.

BARKER, V. (2000): Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas URL:

<http://www.chemsoc.org/pdf/LearnNet/rsc/miscon.pdf> Elérh.:2006.október

BELL, B. (1985): Students' ideas about plant nutrition: what are they? *Journal of Biological Education*, **19**(3), 213-218.

BEN-ZVI, R.; EYLON, B.; SILBERSTEIN, J.(1986): Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, **63**, 64-66.

BEN-ZVI, R.; EYLON, B.-S.; SILBERSTEIN, J.(1987): Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, **24**, 117-120.

BEN-ZVI, R.; EYLON, B. S.; SILBERSTEIN, J. (1988): Theories, principles and laws. *Education in Chemistry*, **25**(3), 89-92.

BERKHEIMER, G. D.; ANDERSON, C. W.; BLAKESLEE, T. D.; LEE O., EICHINGER, D.; SANDS, K. (1999): Matter and molecules –Teacher's Guide– URL: <http://ed-web3.educ.msu.edu/reports/matter-molecules/TEA-SCI-LESSON/TEASCI3.pdf> Elérh: 2007 május

BETHGE, T.; NIEDDERER, H.(1996): Students' conceptions in quantum physics

Idézi: Unal R.; Zollman D. (1999): Students' description of an Atom: A

Phenomenographic Analysis URL: <http://perg/phys.ksu.edu/papers>
Elérh.:2006.október

BLOOM, J. W. (1992): Contexts of meaning and conceptual integration: how children understand and learn Idézi: Taber K. S. (1999) An explanatory model for conceptual development during A-level chemistry. URL: <http://www.leeds.ac.uk/educol/> Elérh.:2007.október

BODNER, G.M. (1986): Constructivism: A theory of knowledge *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **63**, 873.

BODNER, G.; DOMIN, D. (1998): Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. International Council for Association in Science Education, Summer Symposium Idézi: Nahum, L. T.; Hofstein, A.; Mamlok-Naaman, R.; Bar-Dov, Z.: Can Final Examinations Amplify Students' Misconceptions in Chemistry? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* 2004, Vol. **5**, No. 3, pp. 301-325.

BUCAT, R. (2004): Pedagogical Content Knowledge as Way Forward: Applied Research in Chemistry Education *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, Vol.**5**, No. 3, pp. 215-228.

BUTTS, B.; SMITH, R. (1987): HSC Chemistry Students' Understanding of the Structure and Properties of Molecular and Ionic Compounds, *Research in Science Education*, **17**, pp. 192-201.

CAMACHO, F.F. (2006): Previous Ideas
URL: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/previous.htm>
Elérh.:2007.október

CAREY, S. (1985): Conceptual change in childhood. Cambridge, MA: MIT Press,.

CASSELLS, A.; JOHNSTONE, A. H. (1985): Words that matter in science Idézi: Prophet, B.; Towse, P.: Pupils' understanding of some non-technical words in science *School Science Review* December 1999, **81**(295) p.79.

COKELEZ, A.; DUMONT, A. (2005): Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long term memory *Chemistry Education: Research and Practice* Vol.**6**(3), 119-135. URL: http://www.rsc.org/Education/CERP/issues/2005_3/P1_Dumont.asp
Elérh.:2006.október

CSAPÓ BENŐ (1999): Természettudományos nevelés: híd a tudomány és a nevelés között *Iskolakultúra*. **10**. 5-17.

DE POSADA, J.M. (1997): Conceptions of High School Students concerning the internal structure of metals and their electronic conduction: structure and evolution In: Taber, K. S. (2001): Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* Vol 2, No. 2, 123-158.

DAISLEY (évszám nélkül)

URL: www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf

Elérh.:2007.október

DEVETAK, I.; URBANČIČ, M.; WISSIAK, K. S.; KRNEL, D.; GLAŽAR, S. A. (2004): Submicroscopic Representations as a Tool for Evaluating Students' Chemical Conceptions *Acta Chim. Slov.*, **51**, 799-814.

DOIGNON, J-P. ; FALMAGNE, J-C. (1999): *Knowledge Spaces*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

DUIT, R.(Évszám nélkül): Students' and Teachers' Conceptions and Science Education, URL: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>

Elérh.: 2007. november

DUSCHL, R. A.; SCHWEINGRUBER, H. A.; SHOUSE, A. W. (2007): *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8* National Academies Press Washington D.C. p.3. URL:

<http://www.nap.edu/catalog/11625.html> Elérh.:2007.október

EDWARDS, D.; MERCER, N. (1987):*Common Knowledge: The Development of Understanding in the Classroom*. London: Methuen.

FISCHBEIN, E.; STAVY, R.; MA-NAIM, H. (1989): The psychological structure of naive impetus conceptions. In: Palmer, D. H. (1999). Exploring the Link between Students' Scientific and Nonscientific Conceptions *Science Education* **83**: 639–653.

FISHER, K. M. (2004): The importance of prior knowledge in college science instruction. Idézi: Sunal, D. W.; Wright, E. L.; Bland, J. (2004, szerk.): Chapter 5 *Reform in Undergraduate Science Teaching for the 21st Century* Information Age Publishing

GABEL, D. (1999): Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future *Journal of Chemical Education* Vol. **76** No. 4.

GABEL, D.(2000): Theory-Based Teaching Strategies for Conceptual Understanding of Chemistry *Education Quimica* **11**[2] 228-235.

GARDNER, H. (1993): *The Unschooled Mind: How Children Think and How Schools Should Teach*. Fontana Press, London p.4.

- GELMAN, S. A.; MARKMAN, E. M. (1986): Categories and induction in young children, Idézi: Taber, K. S. (2001): Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* Vol **2**, No. 2, 123-158.
- GILBERT, J.K.; BOULTER, C.; RUTHERFORD, M. (1998): Models in explanations *International Journal of Science Education*, 20 (2), pp.187-203.
- GOODWIN A. (2000): The Teaching of Chemistry: Who is the Learner? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* **1**, No.1, pp.51-60.
- GRIFFITHS, A.; PRESTON, K. (1992): Grade 12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, 611-628.
- GRIFFITHS, A. K. (1994): Problem solution and misconceptions in Chemistry and Physics Idézi: Camacho, (2004): Previous Ideas
- HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. (1996): Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry, *Science Education*, **80** (5), pp.509-534.
- HARRISON, A.G., és TREAGUST, D.F. (2000): Learning about atoms, molecules and chemical bonds: a case-study of multiple model use in grade-11 chemistry. *Science Education*.**84**, 352-381.
- HARRISON, A. G. (2000): A typology of school science models *International Journal of Science Education* Vol. **22**, No. 9, 1011- 1026.
- HARRISON A. G. (2002): John Dalton's atomic theory: Using the history and nature of science to teach particle concepts? URL: www.aare.edu/02pap/har02049.htm Elérh.: 2007.nov.
- HAWKES, S. J. (1987): Let's Put and End to Textbook Nonsense *The Scientist*, **1**(26) 11.
- HAWKINS, J.; PEA, R. D. (1987): Tools for bridging the cultures of everyday and scientific thinking Idézi: Palmer, D. H. (1999): Exploring the Link between Students' Scientific and Nonscientific Conceptions *Science Education* 83:639–653.
- HERRON, J.D. (1975): Piaget for Chemists *Journal of Chemical Education*. **52**(3), 146-150.
- HERRON, J.D. (1978): Piaget in the Classroom *Journal of Chemical Education* **55**(3) 165-170.

- HINTON, M. E.; NAKHLEH, M. B. (1999): Students' Microscopic, Macroscopic, and Symbolic Representations of Chemical Reactions. *Chemical Educator* **4**, 158–167.
- JOHNSTONE, A. H. (1997): '...And some fell on good ground', *University Chemistry Education*. **1**, September 8-13.
- JOHNSTONE, A. H. (2000): Chemical Education Research: Where from Here?, *University Chemistry Education*, 4 (1) 34-38.
- JUSTI, R. és GILBERT, J. (1999): A Cause of Ahistorical Science Teaching: Use of Hybrid Models *Science Education* **83**:163–177.
- JUSTI, R. és GILBERT, J. (2000): History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom' *Int.J.Sci.Educ.*, Vol.**22**. No.9. 995.
- KISS EDINA; TÓTH ZOLTÁN (2002): Fogalmi térképek a kémia tanításában *Módszerek és Eljárások* **12**. 63-69. Debrecen
- KOROM ERZSÉBET (1997): Naiv elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásakor. *Magyar Pedagógia*, 1997. 1.szám, 19-40.
- KOROM ERZSÉBET, CSAPÓ BENŐ (1997): A természettudományos fogalmak megértésének problémái. *Iskolakultúra* Február 12-20.
- KOROM ERZSÉBET (2003): A fogalmi váltás kutatása Az anyagszerkezeti ismeretek változása 12–18 éves korban *Iskolakultúra*. 8. 132-140.
- LEE, O.; EICHINGER, D. C.; ANDERSON, C.W.; BERKHEIMER, G.D.; BLAKESLEE, T.D. (1993): Changing Middle School Students' Conceptions of Matter and Molecules *Journal of Research in Science Teaching* vol. **30**. No. 3. pp. 249-270.
- LEE, O. (2001): Culture and Language in Science Education: What Do We Know and What Do We Need to Know? *Journal of Research in Science Teaching* Vol. **38**, No. 5, pp. 499-501.
- LIBARKIN, J. C.; CROCKETT, C. D.; SADLER, P. M. (2003): Density on Dry Land – Demonstrations Without Buoyancy Challenge Student Misconceptions *The Science Teacher* September pp. 46-50.
- LLOYD, G. (2004): hDA (URL: www.hda.gaelanlloyd.com).
- LUDÁNYI LAJOS (2006a): Az atomfogalom taníthatóságának vizsgálata a fenomenográfia és a tudástér elmélet segítségével *Akadémiai Értesítő* LV/2006. 12. 152.o.
- LUDÁNYI LAJOS (2006b): Kémiai fogalmak jelentésváltozásai a diákok

gondolkodásában *Magyar Kémikusok Lapja* **61.** szám 173-178.

LUDÁNYI LAJOS (2007a): Kémiai Bábel *Iskolakultúra* **10.** 1.szám 3-18.

LUDÁNYI LAJOS (2007b): A levegő összetételével kapcsolatos tanulói koncepciók vizsgálata *Iskolakultúra* **10.**szám 50-63.

LUDÁNYI LAJOS (2007c): Tábla és kréta vagy PowerPoint? *KöKÉL* **2.** szám 154-168.

MARÍN, N.; BENARROCH, A.; JIMÉNEZ-GÓMEZ, E. (2000): What is the relationship between social constructivism and Piagetian constructivism? An analysis of the characteristics of the ideas within both theories *International Journal Science Education*, Vol. **22**, No. 3, 225.

MARTON, F.(1986): Phenomenography – a research approach to investigating different understanding of reality Idézi: Unal R.; Zollman D.: Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis URL: <http://perg/phys.ksu.edu/papers> Elérh:2006.október

MÉHEUT, M.(2004): Designing learning sequences about pre-quantitative particle models *International Journal of Science Education* Vol. **26** No.5/April

URL: www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/E3.html
Elérh:2006.október

MOJE, E.B. (1997): Exploring discourse, subjectivity, and knowledge in chemistry class. *Journal of Classroom Interaction*, **32** (2), 35-44.

MULFORD, D.R.; ROBINSON, W.R.(2002): An Inventory for Alternate Conceptions among First-Semester General Chemistry Students, *Journal of Chemical Educations* **79** (6), 739-744.

NAHALKA ISTVÁN (1997): Konstruktív pedagógia – egy új paradigma a láthatáron I.II.III. *Iskolakultúra* VII. 2)3)4). sz.

NAHKLEH, M.B. (1992): Why Some Students Don't Learn Chemistry: Chemical Misconceptions *J. Chem. Educ.* **69**, 191-196.

NELSON, P. G. (2002): Teaching Chemistry Progressively: from Substances, to Atoms and Molecules, to Electrons and Nuclei *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* Vol. **3**, No. 2, pp. 215-228.

NIAZ, M. (1998): From Cathode Rays to Alpha Particles to Quantum of Action: A Rational Reconstruction of Structure of the Atom and Its Implications for Chemistry Textbooks *Science Education* **82**: 527–552.

- NIÁZ, M.; AGUILERA, D.; MAZA, A.; LIENDO, G. (2002): Arguments, Contradictions, Resistances, and Conceptual Change in Students' Understanding of Atomic Structure *Science Education* **86**:505–525.
- NICOLL, G. (2001): A report of undergraduates' bonding misconceptions *International Journal of Science Education*, Vol **23**, No.7, 707-730.
- NURRENBERN, S.C.(2001): Piaget's Theory of Intellectual Development Revisited *Journal of Chemical Education* Vol. **78**. No. 8.August
- OSBORNE R. J.; COSGROVE M. M. (1983): Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, **20**, 825-838.
- PIAGET JEAN (1990): Hat tanulmány. Primo Kiadó Budapest
- PLÉH CSABA (1998): *Bevezetés a megismeréstudományba*. Budapest, Typotex
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. (1982): Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, **66** (2), 211-227.
- POTARI, D.; SPILIOPOULOU, V. (1996): Children's approaches to the concept of volume Idézi: Palmer, D. H. (1999): Exploring the Link between Students' Scientific and Nonscientific Conceptions *Science Education* **83**:639–653.
- POTTER, F. (2004): Simplified version of KST analysis.
Site: www.chem.ps.uci.edu/~mtaagepe/KSTBasic.html
Elérh.:2006.október
- PROPHET, B.; TOWSE, P. (1999): Pupils' understanding of some non-technical words in science *School Science Review* December, **81**(295) p.79.
- RADNÓTI KATALIN (2002): Az anyag atomos szemléletének kialakítása. *Kémia Módszertani Lapok*. 2. szám 3-6.
- RADNÓTI KATALIN (2003): Előismeretek a kémia tanulásához. *Kémia Módszertani Lapok*. 1-2. szám 7-33.
- SAUL, H.; KIKAS, E. (2003): Difficulties in acquiring theoretical concepts: A case of high-school chemistry *Trames*, **7**(57/52), 2, 99–119. URL: <http://www.ceeol.de/aspx/getdocument.aspx?logid=4&id=069425a0-5113-4cdd-9740-bdfe1622a70c> Elérh.: 2007 május

SARIKAYA, M. (2007): Prospective teachers' misconceptions about the atomic structure in the context of electrification by friction and an activity in order to remedy them

International Education Journal, , **8**(1), 40-63.

SCERRI, E. R. (2003): Philosophical Confusion in Chemical Education
Research Journal of Chemical Education Vol. **80**.5.

SCHMIDT, H.-J. (1997): Students' Misconceptions – Looking for a Pattern
Science Education **81** (2), 123-135.

SCHMIDT, H.-J. (1998): Does the Periodic Table refer to chemical elements? *School Science Review* **80** (290), 71-74.

SEQUEIRA, M.; LEITE, L. (1990): On relating macroscopic phenomena to microscopic particles at the junior high school level Idézi: Unal R.; Zollman D.: Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis URL: <http://perg/phys.ksu.edu/papers>

SIRHAN G. (2007): Learning Difficulties in Chemistry: An Overview *Journal of Turkish Science Education* **4** (2) September pp. 2-20.

SKAMP, K.; BOYES E.; STANISSTREET, M. (2004): Students' Ideas and Attitudes about Air Quality *Research in Science Education* **34**: 313-342.

SLISKO, J.; DYKSTRA, D. I. (1997): The Role of Scientific Terminology in Research and Teaching: Is Something Important Missing? *Journal of Research in Science Teaching* Vol. **34**, No.6, pp.655-660.

STRIKE, K.A.; POSNER, G.J. (1985): A conceptual change view of learning and understanding. Idézi: West. L.H.T.; Pines A. L.(1985, szerk.) *Cognitive Structure and Conceptual Change* New York: Academic Press.

TABER, K. S. (1997): Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework? *School Science Review*, **78**, 85-95.

TABER, K. S. (1999): An explanatory model for conceptual development during A-level chemistry. URL: <http://www.leeds.ac.uk/educol/>

TABER, K. S. (2000a): Chemistry lessons for universities?: a review of constructivist ideas, *University Chem. Ed.* **4** (2), 63-72.

TABER, K. S. (2000b): Molar and molecular conceptions of research into learning chemistry:towards a synthesis URL:

<http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00001551.htm>

Elérh.:2006.október

- TABER, K. S. (2001): Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* Vol 2, No. 2, 123-158.
- TABER, K. S. (2002): *Chemical Misconceptions: Prevention, Diagnosis and Cure. Vol 1: Theoretical Background*. Royal Society of Chemistry, London
- TABER, K. (2003): The Atom in the Chemistry Curriculum: Fundamental Concept, Teaching Model or Epistemological Obstacle? *Foundations of Chemistry* **5**: 43–84.
- TAAGEPERA, M.; NORI, S. (2000): Mapping students' thinking patterns in learning organic chemistry by the use of knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, **77**. (9), 1224-1229.
- TAAGEPERA, M.; ARASASINGHAM, R.; POTTER, F.; SOROUDI, A.; LAM, G. (2002): Following the development of the bonding concept using knowledge space theory *Journal of Chemical Education*, **79**. (6) 756-762.
- TAKÁCS VIOLA (2000): *A Galois-gráfok pedagógiai alkalmazása* Iskolakultúra-könyvek, 6. (Sorozatszerk.: Géczi János), Pécs.
- THAGARD P.; TOOMBS E. (2005): *Atoms, Categorization and Conceptual Change* In: Cohen H.; Lefebvre C. (2005, szerk.): *Handbook of Categorization in Cognitive Science*. Elsevier Science B.V. p:243-253.
- TÓTH ZOLTÁN (1999): A kémiakönyvek, mint a tévképzetek forrásai *Iskolakultúra* **10**. 103-108.
- TÓTH ZOLTÁN (2000): „Bermuda-háromszögek” a kémiában *Iskolakultúra*, **10**. 71-76.
- TÓTH ZOLTÁN (2001): A kémiai fogalmak tanításának tartalmi és módszertani kérdései *A Kémia Tanítása*,. **9**. évf. 2. szám, 3-7.
- TÓTH ZOLTÁN (2002): A kémiai fogalmak természete. *Iskolakultúra*, április, 92.
- TÓTH ZOLTÁN (2005): A tudásszerkezet és a tudás szerveződésének vizsgálata a tudástér-elmélet alapján *Magyar Pedagógia*, **105**(1), 59-82.
- TÓTH ZOLTÁN; LUDÁNYI LAJOS (2007): Combination of Phenomenography with Knowledge Space Theory to Study Students' Thinking Patterns in Defining an Atom *Chemistry Education Research and Practice*, **8** (3), 327-336.
- TREAGUST, D.; DUIT, R.; NIESWANDT, M. (2000): Sources of students' difficulties in learning Chemistry *Educación Química* Vol. **11**. [2] 228-235.

URL: www.fqim.unam.mx/sitio/edquim/112/112-trea.pdf

Elérh: 2006. október

TYSON, L.M.; VENNVILLE, G.J.; HARRISON A.G.; TREAGUST, D.F. (1997): A Multidimensional Framework for Interpreting Conceptual Change Events in the Classroom. *Science Education* **81**: 387-404.

UNAL, R.; ZOLLMAN, D. (1999): Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis <http://perg/phys.ksu.edu/papers> 2006. október

YOUNG, J. C. (2003): From Concrete to Formal
<http://ast.ednet.us.ca/journal/journal2003> Elérh.: 2006. október

VALANIDES, N. (2000): Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* Vol. **1**, No. 2, pp. 249-262.

VAN HOEVE-BROUWER, G.M. (1996): Teaching structures in chemistry - An educational structure for chemical bonding
Idézi: Taber, K. S. (2001): Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* Vol **2**, No. 2, 123-158.

VOSNIADOU, S. (1992): Knowledge acquisition and conceptual change
Idézi: Taber, K. S. (1999) An explanatory model for conceptual development during A-level chemistry. URL:
<http://www.leeds.ac.uk/educol/> Elérh.: 2006. október

VOSNIADOU, S.; IOANNIDES, C. (1999): A fogalmi fejlődéstől a természettudományos nevelésig *Iskolakultúra*. **10**. 18-32.

WRIGHT, T. (2005): Images of Atoms URL:
www.uq.edu.au/_sched_science_lesson/TWImagesatoms.html Elérh:
2006. október

ZA'ROUR, G. I. (1975): Science misconceptions among certain groups of students in Lebanon. *Journal of Research in Science Teaching*, **12**(4), 385-391.

15. TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK

Az értekezéshez kapcsolódó közlemények:

Külföldi referált folyóiratokban megjelent közlemények:

1. Tóth Zoltán, Ludányi Lajos: **Combination of Phenomenography with Knowledge Space Theory to Study Students' Thinking Patterns in Defining an Atom**
Chemistry Education Research and Practice, 2007; **8** (3), 327-336.
2. Tóth Zoltán, Ludányi Lajos: **Using Phenomenography Combined with Knowledge Space Theory to Students' Thinking Patterns in Describing an Ion**
Journal Of Baltic Science Education 2007; **6** (3), 27-33.

Hazai referált folyóiratokban megjelent közlemények:

1. Ludányi Lajos: **Kémiai fogalmak jelentésváltozásai a diákok gondolkodásában**
Magyar Kémikusok Lapja 2006. 61. szám 173-178 o.
2. Ludányi Lajos: **Kémiai Bábel** *Iskolakultúra* 2007. 1. szám 3-18.
3. Ludányi Lajos: **A levegő összetételével kapcsolatos tanulói koncepciók vizsgálata** *Iskolakultúra* 2007. 10. szám 50-63.

Hazai nem referált folyóiratokban megjelent közlemények:

1. Ludányi Lajos: **Az atomfogalom tanításának lehetőségei és problémái I. Elméleti alapok** *KöKéL* 2006/5 340-350.
2. Ludányi Lajos: **Az atomfogalom tanításának lehetőségei és problémái II. Hazai tapasztalatok** *KöKéL* 2007/1 68-84.

Az értekezéshez kapcsolódó előadások:

1. Ludányi Lajos: **Kémiai fogalmak jelentésváltozásai a diákok gondolkodásában**
III. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2003.
(Tartalmi összefoglalók: 346. oldal)

2. Ludányi Lajos - Tóth Zoltán: **Kémiai fogalmak jelentésváltozásai a diákok gondolkodásában**
XXI. Kémiatanári Konferencia, Pécs, 2004. (Előadás-összefoglalók: 84. oldal)
3. Ludányi Lajos: **Hogyan képzelik el a tanulók a részecskéket?**
IV. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2004. (Tartalmi összefoglalók: 308. oldal)
4. Ludányi Lajos: **Az iskolatípus és a tanítási módszer hatása a tudásszerkezetre**
V. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2005. (Tartalmi összefoglalók: 161. oldal)
5. Ludányi Lajos - Tóth Zoltán: **Tanulók részecskékkal kapcsolatos definícióalkotásának vizsgálata** *XXII. Kémiatanári Konferencia, Veszprém, 2006. (Tartalmi összefoglalók: 48. oldal)*
6. Ludányi Lajos: **Kémiai Bábel**
VI. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2006. (Előadás összefoglalók: 48.o)
7. Tóth Zoltán – Ludányi Lajos: **Új lehetőség a tudás szerveződésének vizsgálatában: a fenomenografikus elemzéssel kombinált tudástér-elmélet**
Pedagógiai Értékelési Konferencia Szeged, 2007. (Előadás összefoglalók: 75.o)
8. Ludányi Lajos: **Horror Vacui** *VII. Országos Neveléstudományi Konferencia, Budapest, 2007. (Előadás összefoglalók: 75.o)*
9. Ludányi Lajos: **Didaktogén tévképzetek**
XXIII. Kémiatanári Konferencia, Budapest, 2008. (Előadás összefoglalók: 70-71. oldal)

Az értekezéshez kapcsolódó posztterek:

1. Ludányi Lajos – Tóth Zoltán: **How do students define the concept of the atom**
8th ECRICE, Budapest, 2006. (Előadás összefoglalók: 151.o)

2. Ludányi Lajos - Tóth Zoltán: **Kémiai fogalmak jelentésváltozásai a diákok gondolkodásában**
XXI. Kémiatanári Konferencia, Pécs, 2004. (Előadás-összefoglalók: 165. oldal)
3. Ludányi Lajos- Tóth Zoltán: **Az atom fogalmának változása a tanulói definíciókban**
XXII. Kémiatanári Konferencia, Veszprém, 2006. (Előadás összefoglalók: 94.o)
4. Tóth Zoltán – Ludányi Lajos: **Using phenomenography combined with knowledge space theory to study students' thinking patterns in defining an atom**
12th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction, Budapest, 2007.

Az értekezéshez nem kapcsolódó közlemények:

1. Tóth Zoltán – Ludányi Lajos: **A new 'challenge' in balancing redox equation** *Education in Chemistry*, Vol. 43, Number 2 (March), 2006, p. 38.
2. Ludányi Lajos: **Gondolatok a Sligo-projekt kapcsán** *Új Pedagógiai Szemle* 2005. június 65-79.
3. Ludányi Lajos: **Tábla és kréta vagy PowerPoint?** *KöKéL* 2007/2. szám 154-168.
4. Ludányi Lajos: **A kőolaj és földgáz jelentősége**
In: *Informatikai eszközök a kémia oktatásában*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 2003.

16. M E L L É K L E T E K

1.SZ MELLÉKLET

A felmérésben résztvevő iskolák

	Az iskola neve	Cím	Kapcsolattartó tanár
1	Ady Endre Gimnázium	4024 Debrecen, Liszt Ferenc tér 3.	Kertiné Szakáll Anna
2	Bányai Júlia Gimnázium	6000 Kecskemét, Nyíri út 11.	Reiterné Makra Zsuzsanna
3	Berze Nagy János Gimnázium és Szakiskola	3200 Gyöngyös, Kossuth L. u. 33.	Ludányi Lajos
4	Bocskai István Gimnázium	4220 Hajdúböszörmény, Bocskai I. tér 12.	Nagyné Dakos Tímea
5	DE Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma	4024 Debrecen, Csengi u.	Dr. Tóth Zoltán
6	Diósgyőri Gimnázium	3534 Miskolc, Kiss tábornok u. 42.	Bodnár Judit
7	Dóczy Gedeon Református Gimnázium	4024 Debrecen, Kossuth L. u. 35	Jakab Edit
8	ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium	1053 Budapest, Papnövelde u. 4-6.	Villányi Attila
9	Eötvös József Gimnázium	1053 Budapest, Reáltanoda u. 7.	Dancsó Éva
10	Herman Ottó Gimnázium	3525 Miskolc, Tizeshonvéd u. 21.	Juhász Attila
11	Katona József Gimnázium és Számítástechnikai Szakközépiskola	6000 Kecskemét, Dózsa Gy. u. 3.	Reiter István
12	Kossuth Lajos Gimnázium és Kereskedelmi Szakközépiskola	5350 Tiszafüred, Baross út 36.	Czeglédi Erzsébet, Jakab Tibor
13	Sancta Maria Leánygimnázium	3300 Eger, Kossuth u. 8.	Váraljai Pálné
14	Szent Imre Katolikus Gimnázium	4400 Nyíregyháza, Ungvár sétány 19.	Márku Ágnes
15	Vak Bottyán Gimnázium	7030 Paks, Dózsa Gy. u. 103.	Hosszú Istvánné
16	Vasvári Pál Gimnázium	8000 Székesfehérvár, Prohászka u. 71.	Szabó Endre
17	Váci Mihály Gimnázium	3078 Bátonytereny, Váci út 5	Kakuk Erika

2. SZ. MELLÉKLET

AZ ATOM, MOLEKULA, ION FOGALMÁT FELMÉRŐ LAP

Karikázd be a rád vonatkozó jellemzőket!

A tanuló neme: fiú – lány

Évfolyam: 7 – 8 – 9 – 10 – 11

Osztály: A – B – C – D – E

Előző félévi kémia jegy: 1 – 2 – 3 – 4 – 5

Dátum:

1. Írd le a következő fogalmakat!

atom:.....
.....
.....

molekula:.....
.....
.....

elemmolekula:.....
.....
.....

vegyületmolekula:.....
.....
.....

ion:.....
.....
.....

kation:.....
.....
.....

anion:.....
.....
.....

egyszerű ion:.....

.....

összetett ion:.....

2. Fogalmazd meg, hogy mit jelentenek a következő jelölések!

H

.....

H₂

.....

H⁺

.....

3. Válogasd szét a következő jeleket az alábbi három csoportba!

C Ca²⁺ H₂O He Hg K⁺ N₂ NH₃ OH⁻ S S₈ S²⁻ SO₄²⁻

atom :.....

molekula :.....

ion :.....

4. Milyen kémiai részecskékből épül fel ?

a gyémánt :.....

a levegő :.....

a konyhasó :.....

a vákuum :.....

a kristálycukor :.....

a vaskalapács feje :.....

a PE (polietilén) zacskó :.....

a homokszem :.....

a mészkő :.....

a gipsz :.....

5. Milyen kémiai részecskéket tartalmaz a NaCl-oldat?

.....

.....

.....

.....

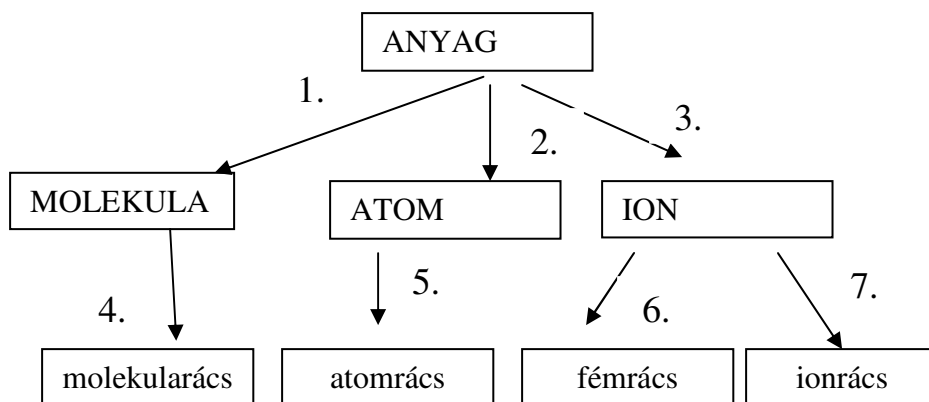
6. Milyen töltésű

az atom?

a molekula?
 az ion?

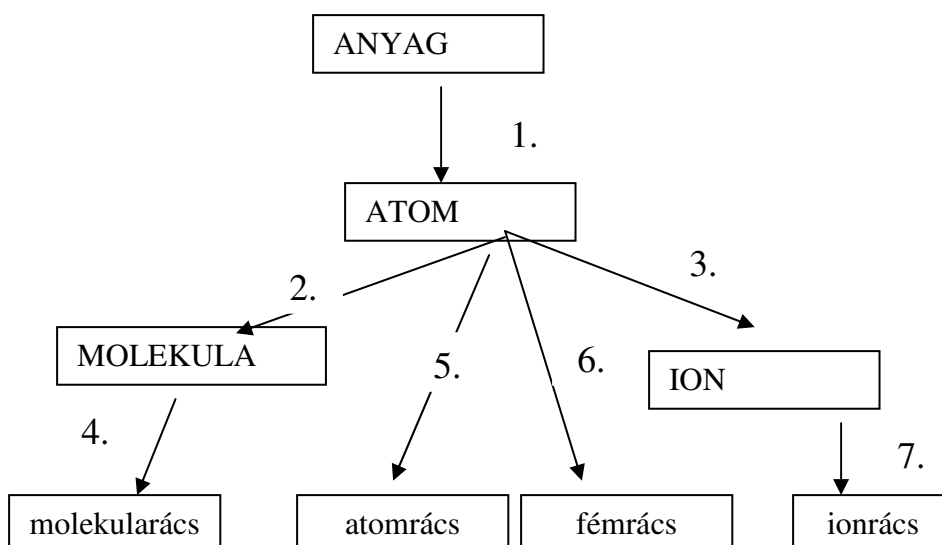
7. Szerinted melyik ábra tükrözi jobban az anyagi halmazok szerveződését? Karikázd be a megfelelő választ a következő oldalon!

I.



1. Az anyag felépülhet molekulákból.
2. Az anyag felépülhet atomokból.
3. Az anyag felépülhet ionokból.
4. A molekularács rácspontjaiban molekulák helyezkednek el.
5. Atomokból épül fel az atomrác.
6. A fémrác építőegységei a(z) (fém)atomok.
7. Az ionrác rácspontjaiban ionok helyezkednek el.

II.



1. Az anyag kizárólag atomokból épül fel.
2. Atomok összekapcsolódásával alakulnak ki a molekulák.
3. Az ionok atomokból jönnek létre.
4. A molekularács rácspontjaiban molekulák helyezkednek el.
5. Atomokból épül fel az atomrács.
6. A fémrács építőegységei a(z) (fém)atomok.
7. Az ionrács rácspontjaiban ionok helyezkednek el.

az I. ábra

a II. ábra

nem tudom eldönteni

szerintem egyik sem helyes, az én elképzelésem szerint (Készíts rajzot!):

8. Írd a következő állítások mellé annak a részecskének a betűjelét, amelyre igaz az állítás! Egy állítás több részecskére is igaz lehet.

A : atom

M : molekula

I : ion

- a) semleges
- b) elemi részecske
- c) több atommagot tartalmaz
- d) képlettel jelöljük
- e) elektronjainak és protonjainak száma megegyezik
- f) kémiai részecske
- g) töltése van
- h) molekulából keletkezhet proton leadásával
- i) az anyag legkisebb kémiaiilag oszthatatlan része
- j) semleges elemi részecske
- k) atomból keletkezhet elektron leadásával vagy felvételével
- l) kémiaiilag tovább osztható
- m) vegyjellel jelöljük
- n) összetett kémiai részecske

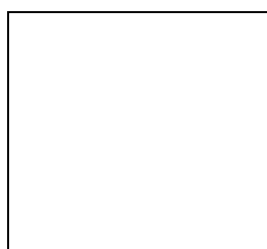
3.SZ. MELLÉKLET

❶ Pár év múlva állást kapsz, és nem lehetetlen, hogy számítógépes grafikus, vagy animátor leszel. Megkérnek a Sulinettől, hogy készíts egy animációs filmet, egy rajzfilmet, amelyben be kell mutatni a

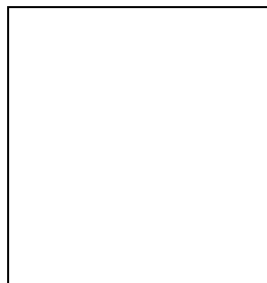
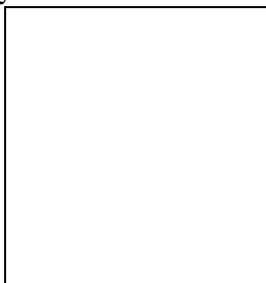
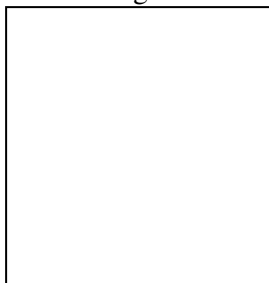
nátrium + klórgáz → nátrium-klorid

reakció **lényegét**, mivel a tanulók nem értik, mi történik a folyamat közben, hogyan is zajlik. Rád bízják, hogy elmagyarázd nekik. Próbáld meg részecskékkel elmagyarázni! Kérnek hozzá egy előzetes szinopszist, azaz néhány főbb képkockát arról, hogy miként is tervezed ezt a filmet. Ha tudsz színeket használni is, az nagyon jó lenne. Ha úgy gondolod, hogy valamit nem ismerünk fel, nyilazz oda, és írd mellé magyarázatot!

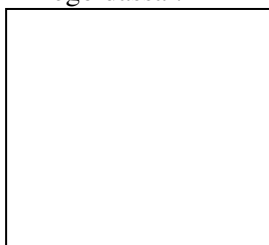
Akárhány képkockát felhasználhatsz, ha kevés, a lapod hátlapján is folytathatod.



❷ A következő film pedig a „Tudósítás egy éppen megfagyó vízcsepp **belsejéből**”. Azt kell elképzelned, mintha egy iszonyú kicsire zsugorított, a vízcsepp belsejében tartózkodó tengeralattjáróból kinéznél az ablakon, és az ott eléd tároló látványról készítenél egy képet. A képek sarkába írd fel a hőmérsékletet, amelyen az a látvány tárulna eléd. A hőmérsékletet pozitív tartományból indulva egyre csökkentsd, míg eléred a negatív tartományt.



❸ A következő megrendelés egy festékgyártól származik, akik egy reklámban animációs filmet be akarják bemutatni azt, hogy egy semmivel nem kezelt vasfelület miként rozsdásodik. Azaz egy olyan filmet kérnek, amelyben **a vas és a korróziót okozó anyag részecskéi látszódnak**, és az, hogy miként zajlik le a folyamat. Az első kép egy teljesen tiszta vasfelület részecskés rajza legyen a hozzá közelítő részecskékkel, az utolsó pedig a már rozsdás vas, persze szintén részecskés megoldással.

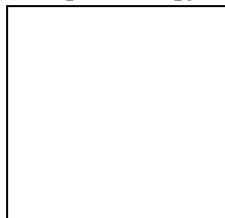
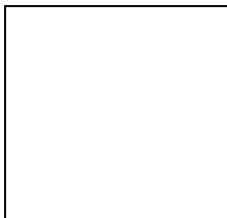
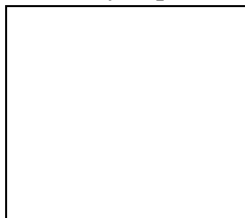


❶ Pár év múlva állást kapsz, és nem lehetetlen, hogy számítógépes grafikus, vagy animátor leszel. Megkeresnek a Sulinettől, hogy készíts egy animációs filmet, egy rajzfilmet, amelyben be kell mutatni a

szén + oxigén $\rightarrow$ széndioxid

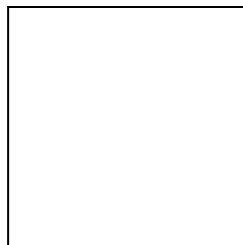
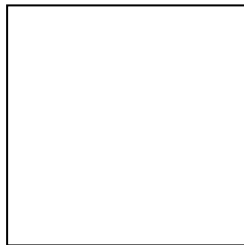
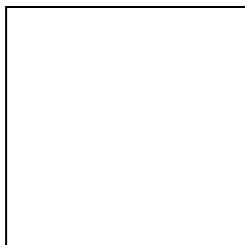
reakció **lényegét**, mivel a tanulók nem értik mi történik a folyamat közben. Látni látják, hogy elég, de azt nem tudják elképzelni, mi is történik a dolgok mélyén. Rád bizzák, hogy elmagyarázd nekik. Kérnek hozzá egy előzetes szinopszist, azaz néhány főbb képkockát arról, hogy miként is tervezed ezt a filmet. Ha tudsz színeket használni is, az nagyon jó lenne! Ha úgy gondolod, hogy valamit nem ismerek fel, nyilazz oda, és írd mellé magyarázatot!

Akárhány képkockát felhasználhatsz, ha kevés, a lapod hátlapján is folytathatod.



❷ A következő pedig a „Mi történik a hőmérő belsejében?” című film. Azt kell elképzelned, mintha egy iszonyú kicsire zsugorított, a higanyban tartózkodó tengeralttjáróból kinéznél az ablakon, és az ott eléd tárolt részecskék látványáról készítenél egy képet. A képek sarkába írd fel a hőmérsékletet, amelyen az a látvány tárulna eléd. Legyen a kezdet egy 0 °C-os kép, majd növel a hőmérsékletet. Az utolsó képkockában ennek a 100 °C-os higany belsejéről készült kép kerüljön. (A higany forráspontja 357°C).

Ha kevesled a képkockát, akkor jelöld valahogy, és a hátoldalon folytasd.



❸ Most pedig azt annak az animációs filmnek a főbb képkockáit készítsd el, amelynek során annak **lényegét** mutatjuk be egy vízkőoldós reklámfilmben, amikor a vízkőoldóban lévő sav (HCl) reakcióba lép a vízkővel (CaCO₃), és feloldja azt. A kezdő képkockákat, hogy ráfröcskölnek a vízkőoldót a vízköves csaptelepre, már leforgatták, **most azt várják tőled, hogy animációval mutasd be, mi is történik ott igazán, milyen részecskék vesznek részt a folyamatban, miként kell elképzelni, hogyan tűnik el a vízkő!** Onnan indul a film, hogy látszanak a vízkő részecskéi, és közelít hozzá a sav. Akárhány képkockát felhasználhatsz.



4. SZ. MELLÉKLET

		1	2	3	4	5	6
A	Hasse diagram	① ② ③					
	Elemek	$\{0\}, \{1\}, \{2\}, \{3\},$ $\{1,2\}, \{1,3\}, \{2,3\},$ $\{1,2,3\}$					
B	Hasse diagram	③ ↓ ② ①	③ ↓ ① ②	② ↓ ① ③	② ↓ ③ ①	① ↓ ③ ②	① ↓ ② ③
	Elemek	$\{0\}, \{1\}, \{2\},$ $\{1,2\}, \{2,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{1\}, \{2\},$ $\{1,2\}, \{1,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{1\}, \{3\},$ $\{1,2\}, \{1,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{1\}, \{3\},$ $\{2,3\}, \{1,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{2\}, \{3\},$ $\{2,3\}, \{1,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{2\}, \{3\},$ $\{2,3\}, \{1,2\},$ $\{1,2,3\}$
C	Hasse diagram	③ ↙ ↘ ② ①	① ↙ ↘ ② ③	② ↙ ↘ ③ ①			
	Elemek	$\{0\}, \{1\}, \{2\},$ $\{1,2\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{2\}, \{3\},$ $\{2,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{1\}, \{3\},$ $\{1,3\},$ $\{1,2,3\}$			
D	Hasse diagram	② ③ ↙ ↘ ①	① ③ ↙ ↘ ②	① ② ↙ ↘ ③			
	Elemek	$\{0\}, \{1\},$ $\{1,2\}, \{1,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{2\},$ $\{1,2\}, \{2,3\},$ $\{1,2,3\}$	$\{0\}, \{3\},$ $\{1,3\}, \{2,3\},$ $\{1,2,3\}$			
E	Hasse diagram	③ ↓ ② ↓ ①	③ ↓ ① ↓ ②	② ↓ ③ ↓ ①	① ↓ ③ ↓ ②	② ↓ ① ↓ ③	① ↓ ② ↓ ③
	Elemek	$\{0\}, \{1\},$ $\{1,2\},$ $\{1,2,3\},$	$\{0\}, \{2\},$ $\{1,2\},$ $\{1,2,3\},$	$\{0\}, \{1\},$ $\{1,3\},$ $\{1,2,3\},$	$\{0\}, \{2\},$ $\{2,3\},$ $\{1,2,3\},$	$\{0\}, \{3\},$ $\{1,3\},$ $\{1,2,3\},$	$\{0\}, \{3\},$ $\{2,3\},$ $\{1,2,3\},$

5.SZ. MELLÉKLET

Jelmagyarázat			
ATOMDEF	Atomdefiníció 1.feladat	HATOM	H jelölés felismerése 2.feladat
MOLEKDEF	Molekuladefiníció 1.feladat	H2MOL	H2 jelölés felismerése 2.feladat
IONDEF	Iondefiníció 1.feladat	HION	H+ jelölés felismerése 2.feladat
EMDEF	Elemmolekula definíciója 1.feladat	ATFELISM	Atomi részecskék jelölése 3. feladat
VEGYMDEF	Vegyületmolekula definíciója 1.feladat	MOLFELIS	Molekula részecskék jelölése 3. feladat
KATDEF	Kation definíciója 1.feladat	IONFELIS	Ion részecskék jelölése 3. feladat
ANIODEF	Anion definíciója 1.feladat	ATRIAD	Atomi építők ismerete 4. feladat
EIDEF	Egyszerű ion definíciója 1.feladat	MOLTRIAD	Molekuláris építők ismerete 4. feladat
OIDEF	Összetett ion definíciója 1.feladat	IONTRIAD	Ionos építők ismerete 4. feladat
ATOTUL	Atom tulajdonságai 8. feladat	IONTUL	Ion tulajdonságai 8. feladat
MOLTUL	Molekula tulajdonságai 8. feladat		

R E L I A B I L I T Y A N A L Y S I S - S C A L E (A L P H A)

Statistics for	Mean	Variance	Std Dev	Variables
SCALE	53,1019	321,1234	17,9199	21

Item-total Statistics

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item- Total Correlation	Alpha if Item Deleted
ATOMDEF	50,2052	300,1882	,4075	,8962
MOLEKDEF	50,0647	289,2551	,5634	,8923
EMDEF	50,6088	274,4233	,6167	,8910
VEGYMDEF	50,7576	275,5605	,5945	,8919
IONDEF	50,0523	286,0800	,5835	,8917
KATDEF	49,7135	279,3633	,5786	,8921
ANIODEF	49,6694	278,5885	,5862	,8919
EIDEF	51,3182	278,6007	,6008	,8913

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item- Total Correlation	Alpha if Item Deleted
OIDEF	51,2686	279,2891	,6001	,8913
ATOTUL	49,7355	303,6982	,4352	,8957
MOLTUL	50,4587	299,9010	,5430	,8937
IONTUL	50,5689	300,2318	,5606	,8935
HATOM	51,3623	299,7982	,4495	,8952
H2MOL	51,2824	294,5726	,5290	,8933
HION	51,2824	294,5726	,5290	,8933
ATFELISM	48,6474	296,7003	,5027	,8940
MOLFELIS	48,9394	292,4984	,5224	,8934
IONFELIS	48,7094	293,2823	,5482	,8928
ATRIAD	52,2782	307,4039	,4927	,8956
MOLTRIAD	52,5179	310,7990	,4174	,8969
IONTRIAD	52,5978	312,9718	,4134	,8974
Reliability Coefficients				

N of Cases = 726,0

N of Items = 21

Alpha = ,8982

6.SZ. MELLÉKLET

A vizsgálatba bevont tankönyvek listája

1. Kecskés Andrásné – Rozgonyi Jánosné: Kémia 7. Tankönyvkiadó Budapest 1984. ISBN 963 18 8219 5
2. Kecskés Andrásné – Rozgonyi Jánosné: Kémia 7. Tankönyvkiadó Budapest 1985. ISBN 963 17 8327 8
3. Kecskés Andrásné – Rozgonyi Jánosné: Kémia 7. Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest 2003. ISBN 963 19 4750 5
4. Rácz Fodor Benő: Kémia 7. Tankönyvkiadó Budapest 1986. ISBN 963 179100 9
5. Kisfaludi Andrea: Belépés a kémia birodalmába Kémia 12-18 éveseknek Calibra Kiadó Budapest ISBN 963 8078 21 9
6. Dr Deák György: Kémia Apáczai Kiadó Celldömölk 1997. ISBN 963 464 258 6
7. Balázs Lórántné dr. - Tóth Zsuzsa: Kémia I. Calibra Kiadó Budapest 1993. ISBN 963 686 197 8
8. Balázs Lórántné dr, - J. Balázs Katalin: Kémia tankönyv az általános iskolák 7. osztálya számára Apáczai Kiadó Celldömölk 2003. ISBN 963 464 671 9
9. Balázs Lórántné dr, - J. Balázs Katalin: Kémia I. Calibra Kiadó 1996. Budapest ISBN 963 686 379 2
10. Z. Orbán Erzsébet: Kémia 7. Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest 2003. ISBN 963 466 672 9
11. Dr Síposné Dr. Kedves Éva - Péntek Lászlóné - Horváth Balázs: Kémia 7. Mozaik Oktatási Stúdió Szeged 1998. ISBN 963 18 8219 5
12. Albert Attila – Albert Viktor – Paulovits Ferenc: Kémia 7. Műszaki Könyvkiadó 2002. ISBN 963 162877 9
13. Zsuga Jánosné: Kémia 12-13 éveseknek Műszaki Könyvkiadó 1997. ISBN 963 16 12 69 4
14. Villányi Attila: Kémia I. Műszaki Könyvkiadó ISBN 963 16 2232 0
15. Kiss Margit: Kémia a nyolcosztályos gimnázium IV. osztálya számára Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest 1994. ISBN 963 18 5436 1
16. Ludányi Lajos: Kémia a nyolcosztályos gimnázium IV. osztálya számára Berze Nagy János Gimnázium 1992. ISBN 963 7876 02 2
17. Maróthy Miklósné: Kémia 12-14 éveseknek Konsept Kiadó 1995. ISBN 963 8332 14X

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Tóth Zoltán egyetemi docensnek, aki megismertetett a pedagógiai kutatómunka, az előadástartás és publikálás szépségeivel, nehézségeivel. Külön köszönettel tartozom azért a végtelen precizitásért, odafigyelésért, amellyel munkámat mindvégig felügyelte, irányította, segítette.

Köszönöm Molnár Lajosné vegyésztechnikusnak, hogy segítségemre volt a beérkezett adatok digitalizálásában.

Köszönöm az anyagi támogatást az OTKA (T-034288, T-049379) pályázatoknak.

Köszönöm hallgatótársaimnak, Kiss Edinának, Dobóné Tarai Évának, Sebestyén Annamáriának, Kószó Katalinnak és Kluksnavszky Ágnesnek, hogy szakmai értékelésükkel hozzájárultak munkám eredményességéhez, és segítettek túllendülni a pszichikai holtpontokon.

Végtelenül hálás vagyok azért a türelemért, mellyel családom tagjai elviselték azt, hogy PhD munkám jelentős része a velük töltött időt csorbította.