



**DRIFTSEBESSÉG-ELLENŐRZŐ RENDSZER
FEJLESZTÉSE A CERN L3 KÍSÉRLETÉNEK
MŰONDETEKTORÁHOZ**

doktori (Ph.D.) értekezés

Zilizi Gyula

Debreceni Egyetem Természettudományi Kar
Kísérleti Fizikai Tanszék
Debrecen, 2001.

Driftsebesség-ellenőrző rendszer fejlesztése a CERN L3 kísérletének műondetektorához

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a fizika tudományában

Írta: **Zilizi Gyula**
okl. fizika-technika-számítástechnika szakos
középiskolai tanár

Készült a Debreceni Egyetem Fizikai tudományok doktori iskolája
Részecskefizika programja keretében

Témavezető:
Dr. Baksay László

A doktori szigorlati bizottság:

elnök:
Dr. Koltay Ede

tagok:
Dr. Horváth Dezső Dr. Vesztergombi György

A doktori szigorlat időpontja: 1999. szeptember 7.

Az értekezés bírálói:

.....
.....

A bírálóbizottság:

elnök:
.....

tagok:
.....

.....
.....
.....

Az értekezés védésének időpontja:

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Fizikai tudományok doktori iskolája Részecskefizika programja keretében készítettem 1998-2001 között és ezúton benyújtom a Debreceni Egyetem doktori Ph.D. fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2001. július 4.

.....
jelölt

Tanúsítom, hogy Zilizi Gyula doktorjelölt 1998-2001 között a fent nevezett doktori program keretében irányításommal végezte a munkáját. Az értekezésben foglaltak a jelölt önálló munkáján alapulnak, az eredményekhez önálló alkotó munkájával hozzájárult. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2001. július 4.

.....
témavezető

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. KÍSÉRLETI ÉS IRODALMI ELŐZMÉNYEK	3
2.1 Az L3 kísérlet	3
2.1.1 A Szilícium Mikrovertex Detektor (SMD)	5
2.1.2 A vertexkamra	8
2.1.3 Az elektromágneses kaloriméter	12
2.1.4 A szcintillációs számlálók	14
2.1.5 A hadron kaloriméter	15
2.1.6 A müondetektor	16
2.2 Driftkamrák	21
3. KÍSÉRLETI RÉSZ	24
3.1 A tesztkamra motivációja és helye a müonkamrák gázellátó rendszerében	24
3.2 A tesztkamra mechanikai felépítése és installációja az L3 gázszinten	28
3.3 A tesztkamra főbb funkcionális egységei és működésük ismertetése	32
3.4 A tesztkamra működésének és felépítésének részletes leírása	35
3.4.1 A driftidő-mérés	35
3.4.2 Hőmérséklet- és nyomásmérés	38
3.4.3 A vezérlődoboz és a kimeneti/bemeneti regiszter ...	39

4. EREDMÉNYEK	40
4.1 A DVM új vezérlőrendszere	40
4.2 A szoftver	42
4.3 Az új rendszer beüzemelése, tesztmérések	45
4.4 A gyűjtött adatok, tapasztalatok rövid összefoglalása ...	48
5. ÖSSZEFOGLALÓ	52
6. SUMMARY	54
7. IRODALOMJEGYZÉK	56
FÜGGELÉK	59
F1. Az L3 kísérlethez kapcsolódó publikációim	59
F2. Egyéb publikációk	60
F3. Az L3 kísérlethez kapcsolódó L3 szerzőlistás publikációim	61
F4. A driftsebesség-ellenőrző rendszer hardvervezérlő programja	71

1. BEVEZETÉS

A természetben előforduló alapvető kölcsönhatások elméleti leírására a legpontosabb modell az elemirész-fizika Standard Modellje. A Standard Modell helyességének ellenőrzése jelenleg is folyik a világ vezető részecskefizikai laboratóriumaiban. Ezek közül mind szervezettségében, mind elért eredményeiben az egyik legkiemelkedőbb a genfi székhelyű Európai Részecskefizikai Kutatóközpont - a CERN. A Debreceni Egyetem Kísérleti Fizika Tanszéke 1994-óta vesz részt a CERN-i L3 kísérletben, mely 2000 őszen fejezte be a méréseket (az eredmények analízise még jó ideig tart). 1996 óta a Nagy Hadronütköztető Gyűrűn épülő CMS kísérletnek is tagjai vagyunk, mely várhatóan 2005-re kezdi meg működését. Mindkét kísérlethez detektorfejlesztéssel, -építéssel járunk hozzá, valamint az L3 és az OPAL kísérletben tanszékünk az adatanalízisben is részt vesz. Jómagam 1994 óta az L3 és a CMS kísérletben vállalt feladatok csaknem mindegyikéhez kisebb-nagyobb mértékben hozzájárultam, ezenkívül (összesen 2,5 évig) USA-beli egyetemek részecskefizikai csoportjaiban tevékenykedtem az Alabama Egyetemen, a Purdue Egyetemen és a Fermi Nemzeti Laboratóriumban. Disszertációm témájául fentiek közül az L3 kísérlethez kapcsolódó egyik detektorfejlesztést választottam.

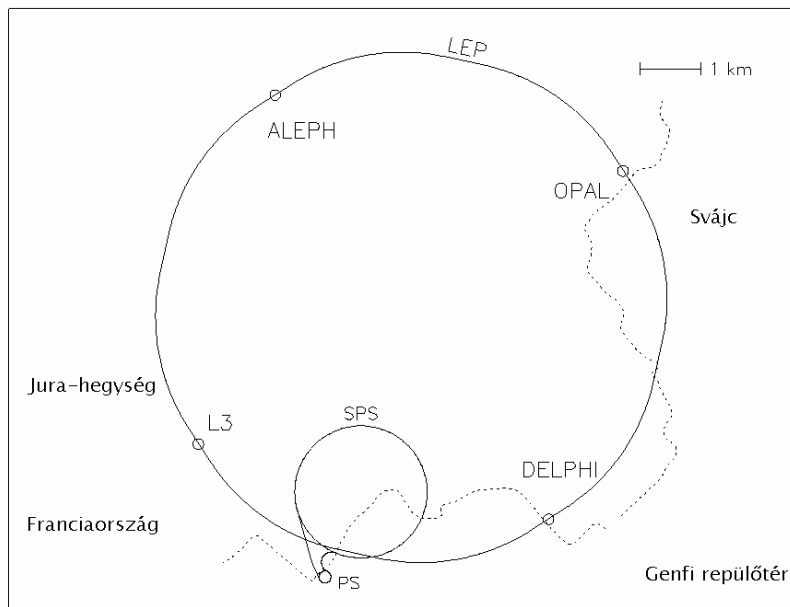
Az L3 a CERN nagy ütközőnyalábos tárológyűrűjének (LEP) legnagyobb detektora volt, amely a nagyenergiájú elektron-positron ütközéseknél keletkező részecskék precíz vizsgálatával lehetőséget nyújt a Standard Modell ellenőrzésére, új jelenségek kutatására ezen elmélet keretein belül (Higgs-mechanizmus), és kívül (pl. szuperszimmetria).

Az L3 detektorban a müonok nagypontosságú detektálására a többi LEP kísérlet detektoraihoz képest nagyobb hangsúlyt fektettek. Az ütközési ponttól legtávolabb elhelyezett gáztöltésű müondetektorokban a müonok pályája mentén keltett töltéscsomagoknak az anód felé történő vándorlási (drift) idejét mérik. A pontos müonpálya-meghatározás csak akkor lehetséges, ha a kamrák töltőgázában a töltött részecskék driftsebessége ismert értékű. Ezt a működés során folyamatosan ellenőrizni és regisztrálni kell, hogy az analízis során a pályák kiszámításánál a szükséges korrekciót figyelembe lehessen venni. A driftsebességnek a töltőgáz paramétereitől függő időbeli változásait egy ebből a célból megépített ellenőrző driftkamra (Drift Velocity Monitor, DVM) segítségével követhetjük nyomon. Feladatomban e rendszer továbbfejlesztése volt, melynek során elsősorban hardver - és szoftverfejlesztéseket, méréseket végeztem, valamint biztosítottam a DVM által szolgáltatott adatok hálózati hozzáférhetőségét az L3 kísérlet számára. Jelen disszertációban ezt a munkát és eredményeit mutatom be.

2. KÍSÉRLETI ÉS IRODALMI ELŐZMÉNYEK

2.1 Az L3 kísérlet

A LEP gyűrű mentén elhelyezett négy nagy kísérlet közül [1] az L3 van legközelebb a CERN fő telephelyéhez. A kísérleti csarnok kb. 50 méter mélyen a föld alatt helyezkedik el a LEP PA2 pontjánál (1. ábra).



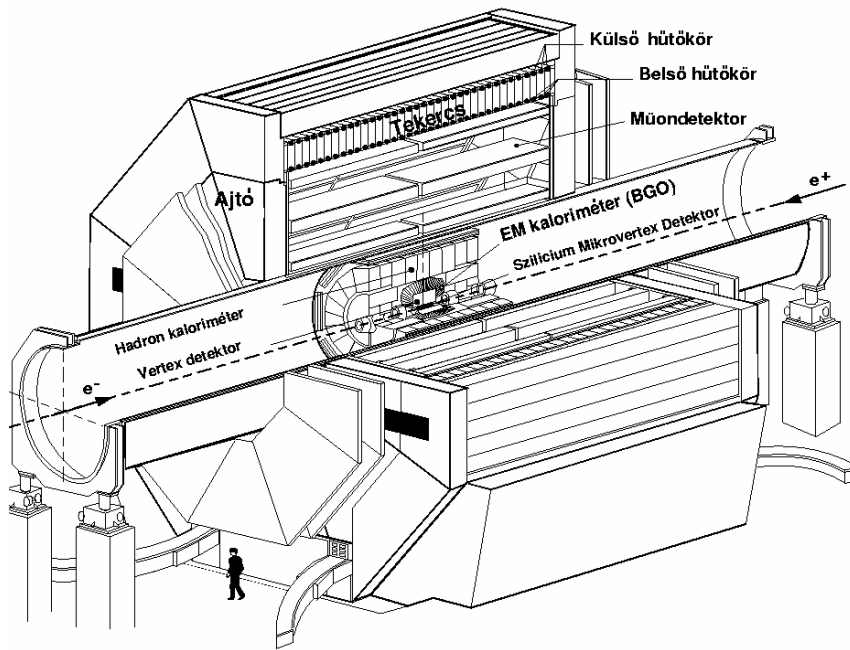
1. ábra

A detektor tervezésekor az volt a cél, hogy a 80-200 GeV-es tömegközépponti energiatartományban végbemenő elektron-positron ütközések során keletkező elektronokat, fotonokat, és müonokat minél nagyobb energia- és

impulzusbontással, precízen tanulmányozhassák. A nagyenergiájú részecskefizika történetének nagy felfedezései szinte kivétel nélkül olyan detektorok segítségével születtek, amelyek koruk színvonalához képest a legkiemelkedőbbben tudták ezt a célt megvalósítani. Jellemző példák erre a Z^0 részecske felfedezése az UA1 kísérletben, valamint a J/Ψ részecske felfedezése Brookhaven-ben, illetve a SLAC-nál. Utóbbi részecske felfedezésében Samuel C. Ting „játszotta a főszerepet”, így nem meglepő, hogy később, amikor már Nobel-díjas tudósként az L3 kísérlet vezetője lett, tapasztalatai és az általa javasolt tervezési szempontok az L3 detektor születésénél is meghatározók lettek.

Az L3 detektor legfontosabb részeit (2. ábra) a hagyományosnak tekinthető módon, az ütközési ponttól kifelé haladva vesszük szemügyre, külön kitérve azokra a tervezési szempontokra, jellemzőkre, melyek sok szempontból szinte egyedülállóvá teszik a hasonló célú nagy részecskefizikai detektorok között.

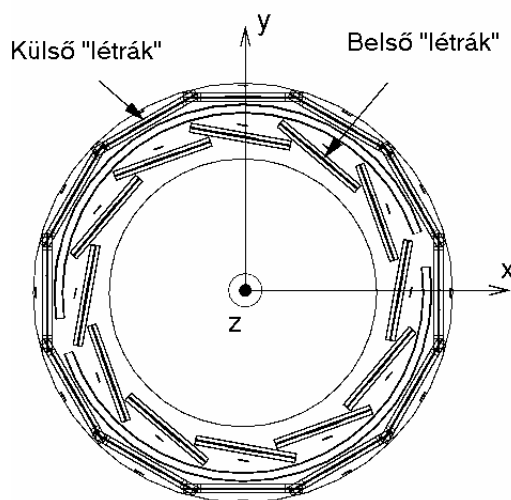
A leírásban természetesen nem törekedhettem teljes részletességre, de a rendelkezésre álló bőséges irodalomból válogatva és saját ismereteim alapján igyekeztem olyan áttekintést adni, amely dolgozatomban témájához legjobban illeszkedik. Az egyes részegységek címsoránál utaltam az azokat legteljesebben leíró publikációkra. A teljes L3 detektor konstrukcióját a [2] cikk tárgyalja.



2. ábra Az L3 kísérlet perspektivikus rajza

2.1.1 A Szilícium Mikrovertex Detektor (SMD) [3]

Az L3 detektor központi nyommeghatározó rendszerének ez az első eleme, mely közvetlenül a LEP 15 cm külső átmérőjű berillium nyalábcsővét veszi körül. A detektortest egy külső és egy belső, koncentrikusan elhelyezett hengerből áll, amelyek között egy, a mechanikai stabilitást és a létrák felerősítését biztosító szénzál erősítésű műanyag henger helyezkedik el.



3. ábra Az SMD keresztmetszete

Mindkét hengert 12-12 db ún. létra alkotja. A külső létrák mindegyike síkjuk normálisa körül 2° -kal, míg a belső létrák hossz tengelyük körül 10° -kal el vannak forgatva. Egy ilyen létra felépítését a 3. ábra mutatja. A létrák az ütközési ponton átmenő, z tengelyre merőleges síkra nézve szimmetrikusak, két fél-létrára oszthatóak; ezek a részek a kiolvasás szempontjából egymástól függetlenek. A létrák szimmetriasíkhöz (az ütközési ponthoz) közelebbi oldalain egy-egy szilícium mikrocík-detektor helyezkedik el; ezek végzik a tényleges nyommeghatározást. A létrák külső végein a kiolvasó és jeltovábbító elektronika található.

A mikrocík-detektor $300\ \mu\text{m}$ vastag szilíciumlapocska, melynek mindkét oldalán, fotolitografikus eljárással vezetősávokat, alattuk pedig szennyezéssel félvezető-átmeneteket alakítottak ki. A szilícium-hordozón így sűrűn,

sávokban elhelyezkedő p-n átmenetek jönnek létre. A szilícium mikrocsík detektorok nagy előnye (a kitűnő helyfeloldás mellett) a jó energia-feloldás, mivel egy elektron-lyuk pár keltéséhez csak mintegy 3.6 eV energiára van szükség. A szilícium nagy sűrűsége miatt a keletkező szekunder elektronok hatótávolsága kicsi, ami jó térbeli feloldást biztosít. A detektoron áthaladó részecske a pályája mentén körülbelül 1 μm átmérőjű térrészben kelt elektron-lyuk párokat. A töltéshordozók ezután az elektromos tér hatására vándorolnak, majd az elektródokon gyűlnek össze. A szilíciumlapka két oldalán kialakított vezetősávok egymásra merőlegesek, így mind az $r - \varphi$ (6 mikronos felbontással), mind a z koordináta mentén (20 mikronos felbontással) megadható a részecske áthaladásának helye. Így még azon rendkívül rövid élettartamú részecskék megfigyelésére is mód nyílik, melyek elbomlásuk előtt egyetlen detektorrészen sem haladtak még át, viszont bomlástermékeik megmért pályájából vissza lehet következtetni az eredeti részecske elbomlásának helyére.

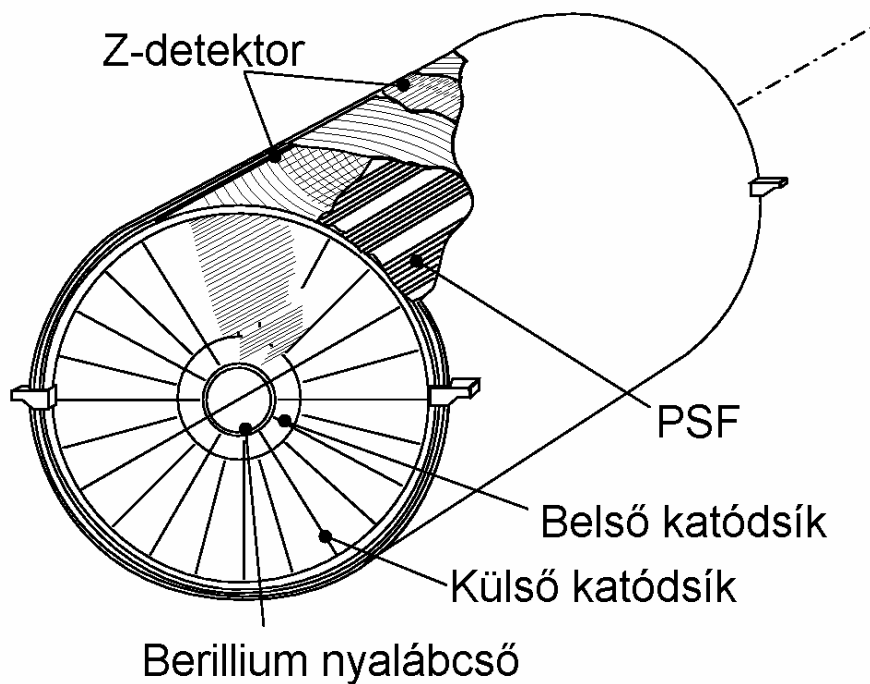
A vertexmeghatározáshoz az SMD-nek és a következő pontban tárgyalt TEC vertexkamrának egymáshoz viszonyított helyzetét néhány mikronos pontossággal ismerni, és folyamatosan ellenőrizni kell. Ezt a feladatot két, egymástól független helyzet-meghatározó rendszer végzi, az egyik kapacitív szenzorok segítségével; a másik, valóban mikronos pontosságú műszer pedig optoelektronikai elven. A TEC belső falához erősített lézertényforrásokból minden SMD létrára egy-egy fényfolt vetül, melyek helyzete az SMD saját kiolvasó elektronikájával meghatározható. Utóbbi rendszer installálásában, feljavításában, bemérésében több éven keresztül magam is részt vettem, előbb az Alabama Egyetem, majd a KLTE „színeiben”. [4]

2.1.2 A vertexkamra [5]

Az L3 kísérlet működésének első három évében, az SMD beépítése előtt a TEC (Time Expansion Chamber) volt az egyetlen és elsődleges központi nyommeghatározó (vertex) detektor [6]. Fő feladatai:

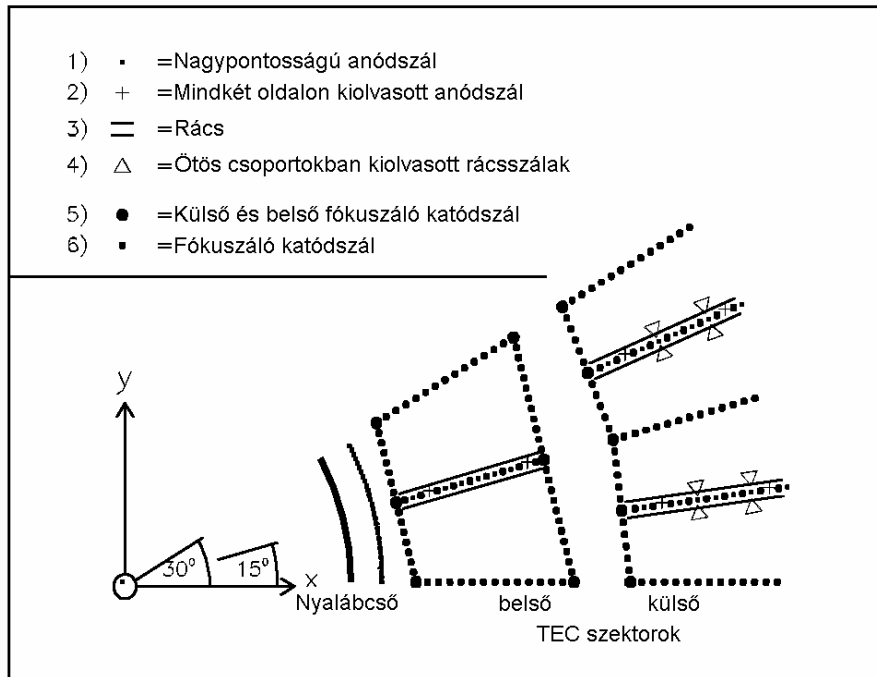
- A 10^{-13} s-nál hosszabb élettartamú részecskék elsődleges és másodlagos vertexeinek meghatározása, bomlásidejeik pontosabb mérése
- Az elektronok és a fotonok megkülönböztetése a töltött részecskéknek az elektromágneses kaloriméterbe való belépési pontja meghatározása révén
- A nyom-multiplicitás meghatározása az eseménytípus felismerésének elősegítésére
- Töltött részecskék töltésszámának meghatározása

Ez az aldetektor két hengeres, koncentrikusan elhelyezett TEC kamrából áll, közös záró (katód)síkokkal, valamint az ezektől független, két rétegben a TEC külsején elhelyezett sokszálas proporcionális kamrákból (ún. z kamrák), melyek nevükhöz híven a z koordináta menti pozíciómérést hivatottak pontosítani. (4 ábra). Az aldetektor hossza 1 méter, radiális irányú kiterjedése 50 cm.



4. ábra A TEC perspektivikus rajza

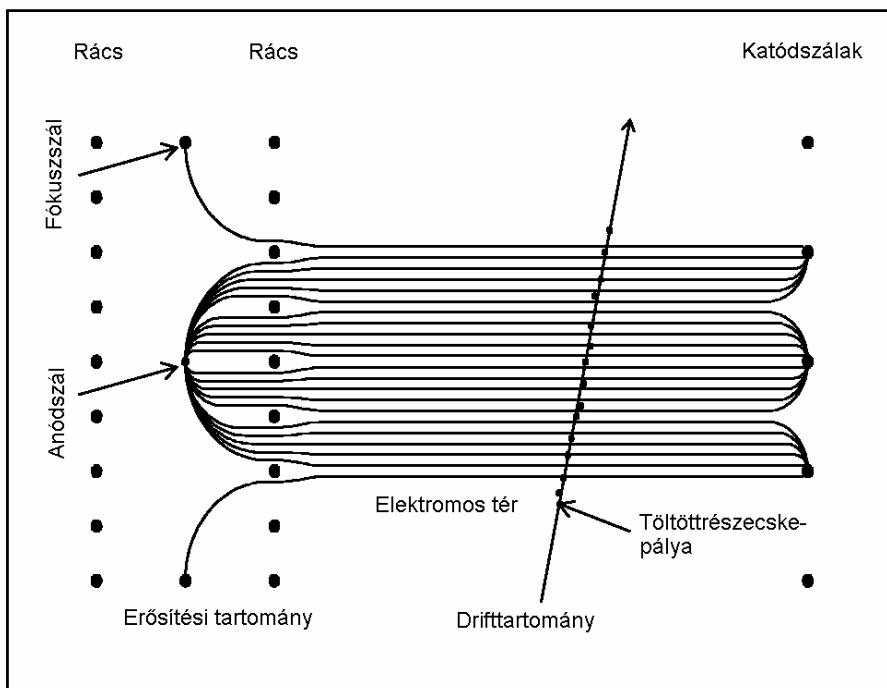
A TEC koncentrikus hengerei közül a belső 12 szektort és szektoronként 8 anódszál tartalmaz, míg a külső henger 24 szektorának mindegyikében 54 anódszál található. Ezek az ún. nagy pontosságú anódszálak, melyek az r , φ koordináták mérésére szolgálnak. Az anódszálak között felváltva helyezkednek el a fókuszáló katódszálak, melyek a drifttartományban a minél homogénebb elektromos tér megvalósításához szükségesek. A szektorokat egymástól katódszálakból álló katódsíkok választják el. A különböző szálak elrendezése az 5. ábrán látható.



5. ábra A TEC szálainak szerepe és elrendezése

A TEC működésében alapvető fontosságú a kis térerejű (0,9 kV/cm) nagy kiterjedésű drifttartomány és a keskeny (3mm-es) erősítési-detektálási tartomány rácossal való elektrosztatikus elkülönítése. A töltött részecske pályája mentén keletkező elektronok a katód és a rács közti homogén, kis térerejű részben viszonylag kis ($\sim 5 \mu\text{m/ns}$) sebességgel sodródznak a rácsig (innen a név: „időkiterjesztés”). A kis driftsebességet elősegíti a kamrát kitöltő alacsony diffúziójú gázkeverék, mely 80% széndioxidot és 20% izobutánt tartalmaz. A rácsot elérve az elektronok átlépnek a nagy térerősségű

detektálási tartományba, ahol elegendő energiát gyűjthetnek ahhoz, hogy a kamra gázzészecskéivel ütközve ionizáljanak és lavinát keltsenek, mely az anódszálon a detektáláshoz megfelelő erősségű jelet eredményez. (6.ábra)



6. ábra A TEC erővonalai

A hagyományos driftkamrákban a diszkriminátor/TDC egység az anódjel felfutó élétől méri a driftidőt. Az effajta mérést lényegesen befolyásolhatja a diffúzió. A TEC-ben az anódjelet gyors, 100 MHz-es flash ADC-k digitalizálják. A memóriában tárolt jel teljes lefutása analízálható, és ennek alapján a diffúzióval keletkező hiba jelentősen csökkenthető. A driftsebesség 0,1%-os pontosságú meghatározásához minden TEC szektorhoz pasztik

szcintillátorszálak is tartoznak, melyek segítségével a driftidő és a drifttávolság közti összefüggés megadható minden anódszára.

A pályarekonstrukció (helymeghatározás) elérhető pontossága átlagosan ~ 60 mikron a belső és 50 mikron a külső szektorokban, a driftidő fenti módon való mérése és a tömegközépponti módszer alkalmazása révén. A TEC segítségével meghatározható, illetve a Bethe-Block formulával kiszámolható a dE/dx energiaveszteség is, kb 10 %-os pontossággal (400 MeV energiájú részecskék esetén).

2.1.3 Az elektromágneses kaloriméter [7]

Ezen aldetektor célja a beérkező fotonok és elektronok energiájának pontos megmérése, jó térbeli feloldás mellett. Ugyanakkor legyen képes elkülöníteni a hadronikus záporokat, melyek energiájának mérése elsősorban a hadron kaloriméter feladata.

A teljes energia megméréséhez a kaloriméternek zártnak kell lennie, ezért a hengerpalást alakú testet, mely 7700 db bizmut-germánium-oxid kristályból áll, a végein záródugók egészítik ki, melyek mindegyike 1500 BGO kristályt tartalmaz. A hengeres rész szorosan illeszkedik a TEC köré, így hossza és belső átmérője is közelítőleg 1 méter.

A beérkező elektromágnesesen kölcsönható részecskék energiájának mérése a BGO kristályokban történő teljes abszorpció révén valósul meg. A kristály anyagával való kölcsönhatás során annak belsejében intenzív elektromágneses részecskezáporkok keletkeznek. Az elektromágneses energia szcintilláció révén fényre alakul át, melynek intenzitásából a beérkezett részecske energiájára

lehet következtetni. Ennek meghatározására a kristályok külső felszínére fotodiódákat ragasztottak, és jeleiket töltésérzékeny erősítők közbeiktatásával 21 bites ADC-k digitalizálják, 1%-nál jobb linearitással.

A BGO kristály szinte ideális anyag az EM kaloriméter fent említett céljainak megvalósításához, mert rövid (1,12 cm) a sugárzási hossza, ugyanakkor nagy (22 cm) a nukleáris kölcsönhatási távolsága, mely jellemzők kompakt felépítést, valamint az elektromágneses és a hadronikus részecskék jó hatásfokú szétválasztását teszik lehetővé. A BGO-nak továbbá jó a sugárkárosodással szembeni tűrőképessége, és fényhozama arányos az elnyelt energiával. Gyártása viszont drága és nehézkes, törekenysége és nagy sűrűsége miatt pedig speciális alátámasztásra van szükség, amely ugyanakkor nem eredményezhet nagy holttereket. Az L3-nál ezt szén-szál erősítésű kompozitanyag alkalmazásával érték el. Az egyes kristályok hosszanti irányban elvékonyodó négyzetes hasáb alakúak, a külső oldalon 3×3 cm, a detektor centruma felé néző oldalon pedig 2×2 cm alapterülettel. Az egyenletes energia- és pozíciófelbontás, valamint a záporok elkülöníthetősége érdekében valamennyi kristálydarab tengelye a kölcsönhatási pont felé mutat. A BGO σ_E/E felbontása függ az energiától; 100 MeV körüli fotonokra és elektronokra $\sim 5\%$, amely 2 GeV-en $\sim 2\%$ -ra, 45 GeV-en pedig $\sim 1.2\%$ -ra módosul. A térfelbontás 1-3 mm pontosságú, ez 1 GeV körüli fotonok esetén $0,5^\circ$ –os pontosságot jelent, 5 GeV felett pedig jobb, mint $0,12^\circ$ –os felbontást. Záporok irányának meghatározása 2,5 fok pontossággal lehetséges.

Az elektromágneses kaloriméter a két végén (előre - hátra irány) egy-egy nyomkövető kamrával egészül ki. Ezek a töltött részecskéknek a kaloriméter

záródugóiba való behatolási pontjait határozzák meg, 200 mikronnál jobb térbeli és ~ 1 mrad szögfelbontással.

2.1.4 A szcintillációs számlálók [8].

Ezekből összesen 30 található az elektromágneses és a hadron kaloriméter közötti térrészben, kettős feladattal:

- a kozmikus eredetű müonok kiszűrése a részecskék repülési idejének mérése által
- gyors triggerjel szolgáltatása a hadronikus események regisztrálásához.

A két méter hosszú, 1 cm vastag plastik-szcintillátorokat mindkét végükön fotoelektronsokszorozókkal olvassák ki, melyek jeleit precíziós idődigitalizálókkal (TDC) dolgozzák fel.

A $Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ eseményeknél az elérhető időfelbontás 0,48 ns. Ez jó hatásokkal lehetővé teszi az ebből a folyamatból származó müonok elkülönítését a kozmikus eredetű müonoktól. A Z^0 bomlásánál a két részecske két, egymással szemközti szcintillátorban egyidejűleg kelt jelet, míg a kozmikus müonok több mint 5,8 ns alatt teszik meg az utat a szemközti szcintillátorok között.

2.1.5 A hadron kaloriméter [9]

Feladata a hadronok energiájának és irányának megmérése, egyúttal a hadronzárporok megállítása. Erre az energiamérés mellett annak érdekében is szükség van, hogy a műonkamrákat a műonokon kívül más részecskék ne érhessek el. A minél nagyobb ionizációs energiaveszteség eléréséhez sűrű anyagra van szükség; az L3 mintavételező rendszerű hadron kaloriméterében erre a célra a rövid nukleáris kölcsönhatási távolságú uránt, a műonkamrák előtti műonszűrő fokozatban pedig bronzot alkalmaznak. Az urán természetes radioaktivitását egyúttal felhasználják a gáztöltésű kamrák kalibrálására.

Az aldetektor 4,5 méter hosszú henger (pontosabban nyolcszög alapú hasáb), végein a szinte teljes lefedettség eléréséhez záródugókkal ellátva. Külső átmérője 1,8 méter, belső átmérője pedig 0,9 méter. A nagy súllyal járó kezelési, szerelési nehézségek miatt a teljes detektor szétszedhető, moduláris felépítésű. Hengeres része a z tengely mentén 9 gyűrűre tagolódik, melyek sugárirányban váltakozva tartalmazzák a 7 mm vastag abszorbens és a szintén 7 mm vastag detektáló rétegeket; összesen 73-at. Ezek együttesen 5,8 sugárzási hosszúnak felelnek meg. A gyűrűk mindegyike 16 szegmensből (modulból) tevődik össze. A detektáló rétegek gáztöltésű, streamer módban üzemelő kamrák (80% argon, 20% szén-dioxid töltéssel). Előnyük, hogy mágneses térben megbízhatóan működnek, nagy tömegben azonos paraméterekkel előállíthatók, ami a jó energiafelbontás érdekében is fontos. Összesen 7968 ilyen kamrát építettek be, ezek együttesen 370 ezer szálát tartalmazznak.

A záródugók egy külső és két belső gyűrűből állnak; ezek mindegyikében 12 modul helyezkedik el. A hengertest és a záródugók a 4π térszögtartomány 99.5%-át lefedik.

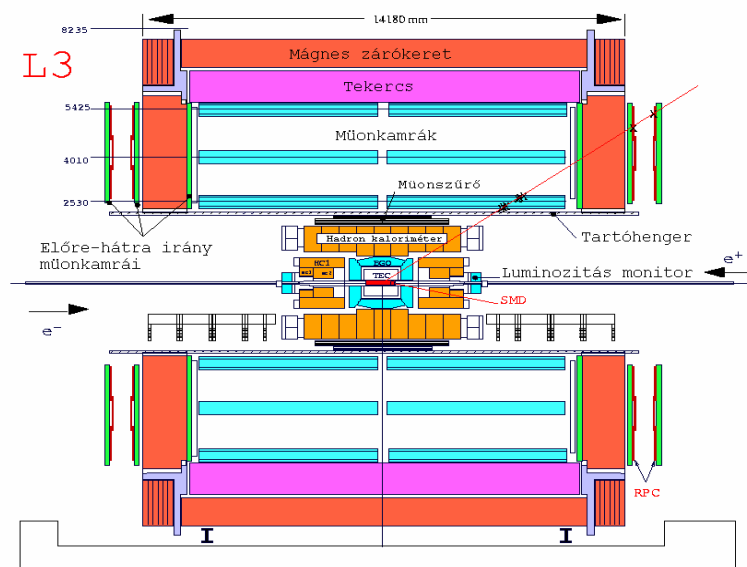
A hadron kaloriméter mért energiefelbontását a $\frac{\Delta E}{E} \approx \left(\frac{55}{\sqrt{E}} + 5 \right) \%$ kifejezés adja meg (ahol E a teljes átadott energia GeV-ben); térbeli felbontása pedig θ és ϕ mérését $2,2^\circ$ -os pontossággal teszi lehetővé.

A hengeres test külső része és az L3 detektor belső részének tartóhengere (*support tube*) között található a müonszűrő, a tartóhenger belső oldalára felerősítve. A tartóhengeren kívül elhelyezkedő müondetektor felépítésének megfelelően (l. következő alfejezet) ez is 8 oktánsból áll. Valamennyi szektora 6 réteg, 1 cm vastag bronz abszorbenst tartalmaz; közöttük felváltva 5 rétegben proporcionális kamrák találhatók, melyek anódszálai a nyalábcsővel párhuzamosan futnak. A müonszűrő energiaelnyelő hatása révén megakadályozza a müondetektor kontaminációját más részecskékkel, egyben védőpajzsot is képez a hadron kaloriméterben található urán radioaktív sugárzásával szemben.

2.1.6 A müondetektor [10]

Az L3 detektornak ez a meghatározó része tekintélyt parancsoló mérete és geometriája miatt alig nevezhető az eddig tárgyalt részekhez hasonlóan *aldetektornak*. Tervezésénél olyan célokat és mérési pontosságot tartottak

szem előtt, amellyel nem vetekedhetnek a „konkurrens” LEP detektorok, így meglehetősen egyedi konstrukcióról van szó. Mivel disszertációm témája az L3 kísérlet ezen részéhez kapcsolódó fejlesztés, a müondetektor ismertetése ebből a szempontból is lényeges.



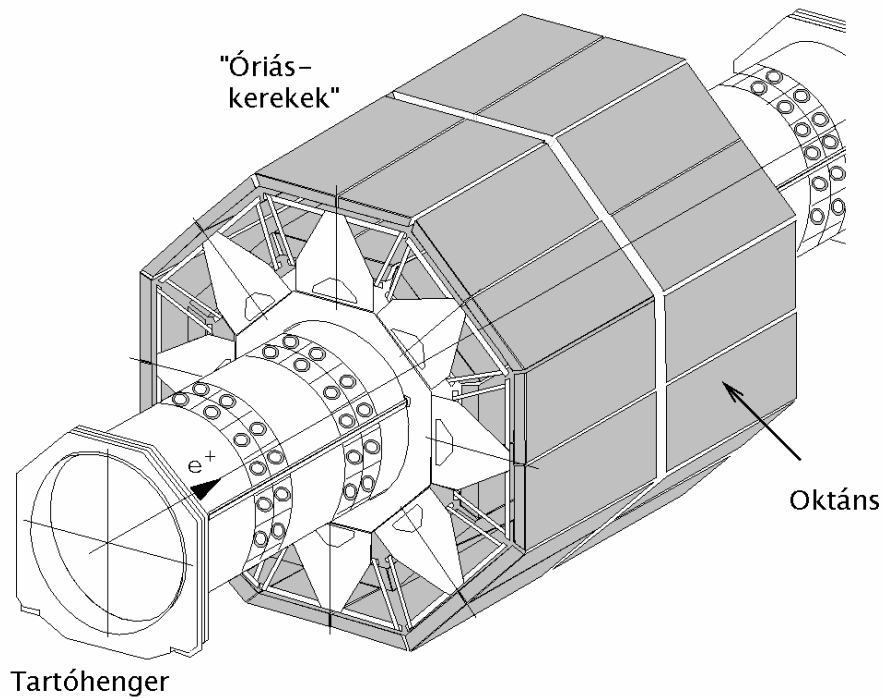
7. ábra Az L3 kísérlet hosszmetsete

A müondetektor elhelyezkedése (valamint az előző alfejezetekben tárgyalt detektorrészek is) jól megfigyelhetők az L3 kísérlet hosszmetsete mentén készített metsetrajzon (7. ábra) valamint a korábbi 2. ábrán is.

A müon spektrométer a 2,2 méter sugarú támasztóhenger és az 5,9 méter belső sugarú szolenoidtekeracs közötti teret foglalja el. Ezt a hatalmas térfogatot ($\sim 1000 \text{ m}^3$) teljes egészében kamrákkal kitölteni sem mechanikai,

sem egyéb szempontok alapján nem lett volna célszerű. A detektor sugárirányban három fő rétegben tartalmaz driftkamrákat, köztük meglehetősen nagy szabad térközökkel. Ez a struktúra nyitott mágnesajtóknál jól megfigyelhető. Nyolc, egymáshoz illesztett, az említett három kamararétegből álló *oktáns* alkot egy "óriáskereket" (a küllős támasztószerkezet és a hatalmas méretek valóban erre emlékeztetnek). Két „óriáskerék” biztosítja a szükséges hosszúságban (11,5 m) a z irányú lefedettséget, ezek az ütközési ponton átmenő, z -re merőleges síkra szimmetrikusan helyezkednek el (8. ábra).

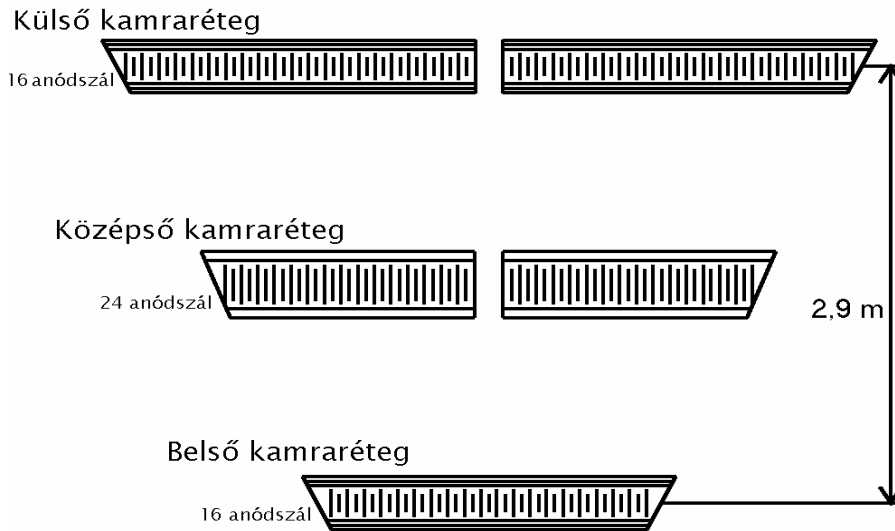
Az oktáns három rétegét és azok részletesebb felépítését a szintén tanulmányozhatjuk a 9. ábra segítségével. A tervezéskor kitűzött cél az volt, hogy 50 GeV-en legalább $\Delta p/p = 2\%$ -os pontossággal mérhessék a müonok impulzusát, ami 100 GeV-es müonpároknál 1.4%-os $\Delta m/m$ tömegmérési pontosságot eredményez.



8. ábra A müonkamrarendszer perspektivikus rajza

A müonspektrométer $B=0,5$ T mágneses terében a belső és a külső driftkamraréteg között megtett 2,9 m-es úton egy 50 GeV-es müon pályája $s=3,4$ mm szagittával tér el az egyenestől. Az impulzsmérési pontosság $\Delta s/s$ mérésének precizitásától függ, így a fentiek szerint ennek is 2%-on belül kell lennie, ami kb. 75 μm -es felbontásnak felel meg. További számítások és a Brookhaven Nemzeti Laboratóriumban végzett teszt kísérletek alapján [1] határozták meg az egyes driftkamrarétegekben ehhez szükséges sugárirányú anódszálak számát (9. ábra).

Megjegyzés [AB1]: Constr.
L3. Exp. [3]

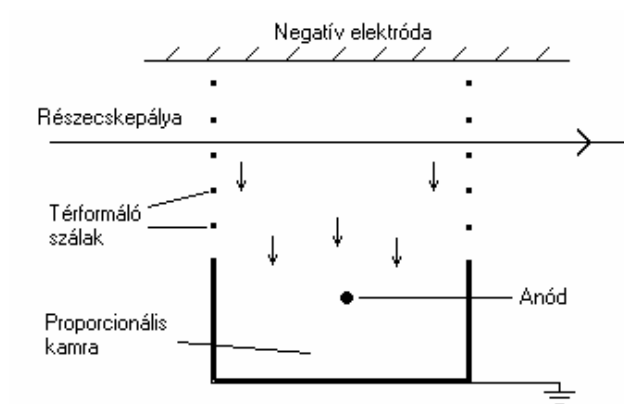


9. ábra Az L3 müonkamrák keresztmetszeti rajza

Ezeket a kamrákat impulzusmérési funkciójuk alapján p -kamráknak nevezték el. A külső és a belső p -kamrák mindkét felületét 5 cm vastag, ún. z kamrákkal fedték le (az ábrán háromszoros vonal jelzi az elhelyezkedésüket). Ezekben az anódszálak keresztirányban, a nyalábtengelyre merőlegesen futnak, ezáltal a müonpályák z koordinátájának mérését teszik lehetővé. A középső kamararétegen nincsenek z kamrák, viszont ennek felületeire az azonos mechanikai szilárdság elérése céljából 5 cm vastag alumínium méhsejtszerkezetet erősítettek.

2.2 Driftkamrák

A driftkamrák működésének elve a 10. ábrán látható. A részecskepálya mentén az ionizációval felszabaduló elektronok homogén elektromos tér esetén állandó sebességgel sodródznak egy proporcionális számláló felé. A részecske áthaladása és az érzékelőszálra felfutó lavina által kiváltott impulzus időkülönbségéből a részecskepálya helyzetére lehet következtetni.



10. ábra A driftkamrák működési elve

A driftkamrák tervezésénél, gyakorlati megvalósításánál egy sor szempontot kell figyelembe venni [12]. A teljesség igénye nélkül ezek a következők:

- az elektromos tér kialakítása (homogén vagy egyéb, speciális legyen)

- mekkora a megengedett holtidő (figyelembevéve, hogy az elektronok tipikusan $50 \mu\text{m/ns}$ sebességgel sodródnak az érzékelőszál felé)
- feloldhatóak-e a több részecskepályától közel azonos időben beérkező jelek
- milyen gázkeveréket használjanak, milyen precizitással kell tartani annak összetételét
- a nyomás, a hőmérséklet és a nagyfeszültség stabilitásának követelményei

Optimális feltételek mellett a driftkamrákkal $50\text{-}100 \mu\text{m}$ pontossággal mérhető a részecskepálya pozíciója. A szokásos driftávolság alkalmazásuktól függően $1\text{-}50 \text{ cm}$. A részecske áthaladását például külső szcintillációs számlálókkal érzékelhetjük; ez egyben a t_0 időt is definiálja, és egy idődigitalizáló (TDC) indítójelét szolgáltathatja. A kamra érzékelőszáláról kapott jel pedig stopjelként funkcionálhat. A feltételes módot az indokolja, hogy a szakirodalomban számos más megoldással is találkozhatunk az időmérés gyakorlati kivitelezésére.

A driftkamrák egyik speciális rendeltetésű változatát arra használják a kísérletekben, hogy az ott felhasznált gáztöltésű detektorok töltőgázában nyomon kövessék, regisztrálják a driftsebesség esetleges változásait. Ezek a tesztkamrák geometriai felépítésükben, elektródaelrendezésükben általában hasonlóak a részecskepályák mérésére szolgáló driftkamrákhoz, és - a mérés céljának megfelelően - közös gázellátó rendszerből áramoltatják át rajtuk a töltőgázt. A tesztkamra gázterében viszont különböző módszerekkel „mesterségesen” keltik az elektronokat, a driftidőmérő eszköz egyidejű triggerelésével. A gáz ionizálására, az elektronok kiváltására alkalmazhatnak

β -forrást [13], röntgensugarat [14] ultraibolya lézert [15] vagy alfa-bomlástermékeket [16].

Az egyik újabb módszer szerint az elektronokat nem a gázban keltik ionizációval, hanem a kamra katódfelejéből impulzusüzemű ultraibolya lézerrel fotoeffektus révén váltanak ki elektronokat. Így pontosan lokalizálható az elektronok kilépésének helye, és nem szükséges járulékos vegyi anyagok bevitele sem a kamrába, ami a gáz lézeres ionizációjához egyébként szükséges lenne. Így különösen alkalmas az olyan magas pontossági igényű driftsebességméréshez, mint ami az L3 kísérlet műionrendszeréhez szükséges. A módszert magyar csoport fejlesztette ki a nyolcvanas évek végén [17], és első gyakorlati alkalmazása az itt tárgyalt L3 műion tesztkamra első verziója volt [18], melynek fejlesztését 1994-től vettem át. Ennek a munkának a leírása és eredményei találhatók meg a következő fejezetekben.

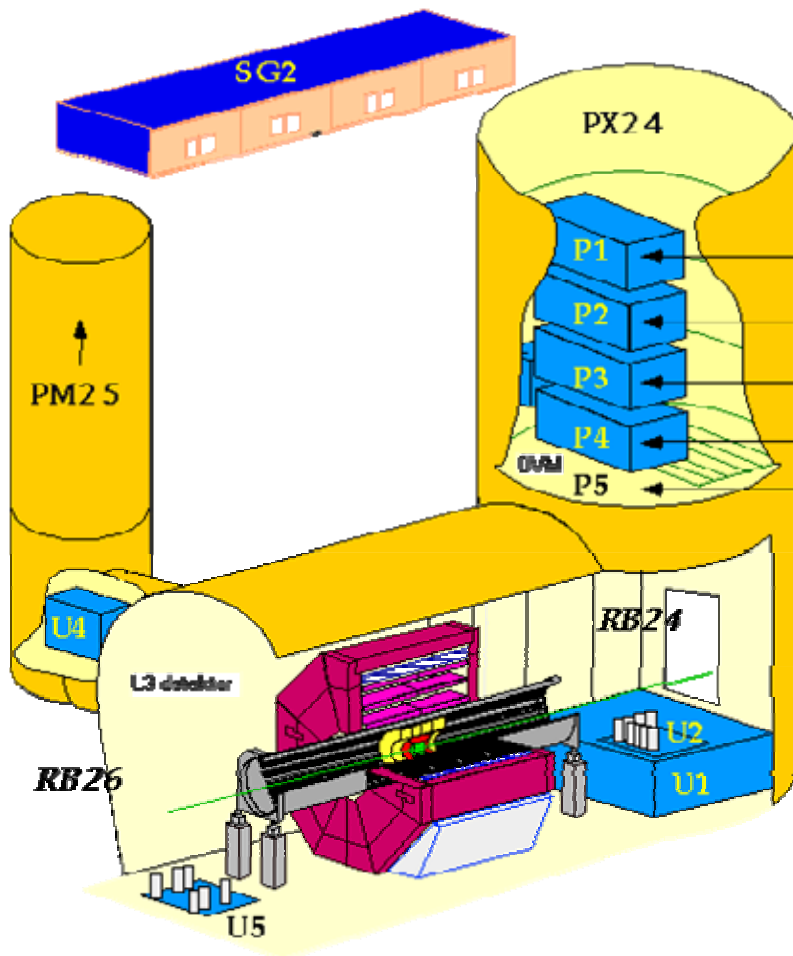
3. KÍSÉRLETI RÉSZ

Az L3 tesztkamra

3.1 A tesztkamra motivációja és helye a müonkamrák gázellátó rendszerében

A részecskefizikai kísérletekben használt driftkamrák, így az L3 kísérlet müonspektrométere is magas követelményeket támasztanak a töltőgáz minden fizikai paraméterének stabilitásával szemben. Az L3 kísérlet valamennyi gáztöltésű aldetektorának gondosan megtervezett, egymástól független gázellátó rendszere van. A két főrendszer közül az egyik a TEC és a Z kamrák gázellátó rendszere, a másik pedig a 2.6 fejezetben tárgyalt p müonkamráké. Az előbbi 80% szén-dioxid és 20% izobután keveréket szolgáltat a TEC számára, míg a müonkamrák 61.5% argon és 38.5% etán gázkeverékkel működnek. Mindkét főrendszer számos részegységből, alrendszerből épül fel. A tervezésnél a fizikai paraméterek mellett a biztonsági megfontolások játszották a legfontosabb szerepet, a szigorú CERN biztonsági és tűzvédelmi szabványok maradéktalan betartásával. A gázok tárolása a detektorépülettől távolabb, a szabadban elhelyezett tartályokban történik, és a gázrendszer egy jelentős részét is (keverő, nyomásszabályozó és minőségellenőrző rendszerek) a tartályok mellett, az SG2 jelzésű külön épületben helyezték el az L3-tól mintegy 30 méter távolságban. Innen csővezetékeken kerülnek a gázok az L3 verem P5 „Plug” szintjére, ahol a számítógép-vezérlésű elosztórendszer elhelyezést nyert.

Végül a gázkeverék innen a 16 párhuzamos ellátó csővezetéken keresztül jut az UX25 jelű kísérleti csarnokba, a műonkamrarendszer 16 oktánsághoz.



11. ábra A DVM elhelyezése az L3 kísérletben

Az L3 műon gázrendszerének elvi rajza a 12. ábrán látható.

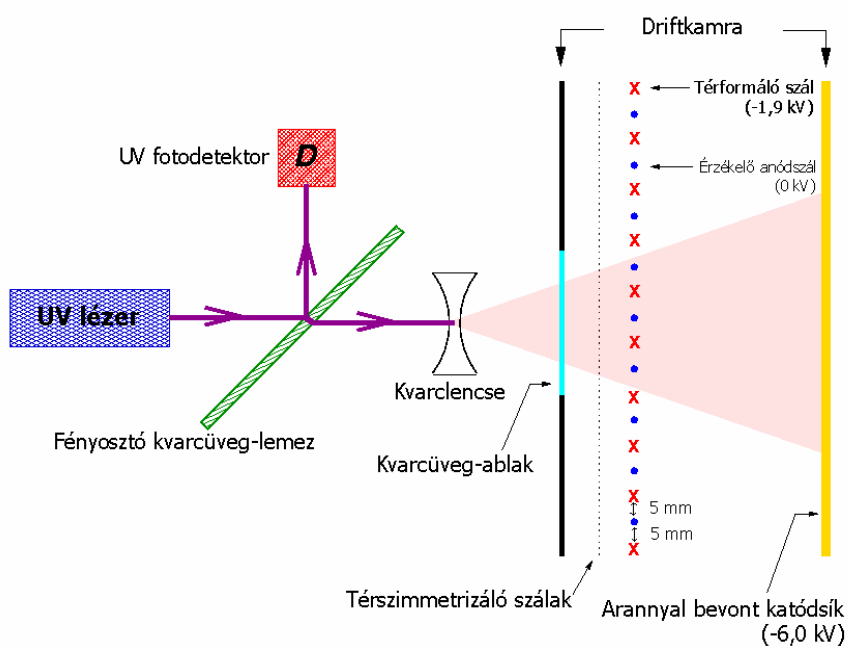
A p-müonkamrák össztérfogata 250 m^3 , és rajtuk óránként 52.5 m^3 gázmennyiséget áramoltatnak keresztül 0.001 bar túlnyomással. A gázmennyiség legnagyobb részét (mintegy 50 m^3 –t) a minőség ellenőrzése és beállítása után recirkuláltatják, míg a hozzákevert friss gáz mennyisége csak 2.5 m^3 . Ezzel komoly költségmegtakarítást érnek el. A kiváló hosszú távú stabilitás eléréséhez infravörös gázanalizátorokkal folyamatosan ellenőrzik a gázösszetételt. Az analizátorokat rendszeresen újrapalibrálják egy referencia-gázkeverék segítségével. A minőség-ellenőrzés utolsó láncszeme a jelen dolgozatom témáját képező driftsebességellenőrző rendszer (a 11. és 12. ábrán a “DVM” jelzésű egység). Ezen a kis tesztkamrán közvetlenül a fő ellátó csővezetékéből óránként 4 liter gázmennyiséget áramoltatunk keresztül (átáramlásmérővel ellenőrzöten és beállíthatóan). Ilyen elhelyezése lehetőséget ad arra, hogy idejekorán figyelmeztetést küldjön a számítógéprendszernek a gázparaméterek esetleges megváltozásáról, valamint normál üzem esetén ellenőrzésül és megerősítésül szolgál a többi minőségbiztosító és mérőberendezés mellett. Mivel ezek méréseiből a driftsebességre csak a fizikai összefüggésekből számolva lehet következtetni, a DVM rendszer jelentősége abban is megmutatkozik, hogy ez az egyetlen ellenőrző eszköz, amely közvetlenül az elektronok driftsebességét (driftidejét) méri, ugyanazon fizikai folyamattal, amely a müonkamrákban is lezajlik.

12. ábra Az L3 müondetektor gázellátó rendszere

3.2 A tesztkamra mechanikai felépítése és installációja az L3 gázszínten

A kamra konstrukcióját elsősorban az a vezérelv határozta meg, hogy a tesztkamra elektródastruktúrája és drifttávolsága megfeleljen az L3 müondetektor p-kamráiban alkalmazott megoldásnak (2.6 fejezet). A leglényegesebb különbség az elektródák szempontjából az, hogy a tesztkamrában a katódot aranyréteggel befuttatott rézlemez (nyomatott áramköri lap fóliarétege) alkotja. Az anódsík konstrukciója megegyezik a müon p-kamrákéval. A 20 μm átmérőjű jelvezetékek és a 60 μm -es térformáló szálak felváltva helyezkednek el az anódsíkban, 5 mm-es térközökkel. A szálak tartókerete itt is megfelelő alakra kivágott és maratott NYÁK - lemezből készült. A p-kamrák másik oldali katódsíkját a tesztkamrában egy, a katódnál sokkal közelebb elhelyezett térszimmetrizáló rács helyettesíti. Ez a 60 μm -es szálakból 1 mm-es térközökkel kialakított rács az anódhoz viszonyítva $-1,9$ kV feszültséget kap, ezáltal biztosítva a jelvezetékek körüli szimmetrikus potenciáeloszlást. A kamra teste (oldalfalai) plexiből készült. A plexitest vastagsága, illetve a jelvezetékek elhelyezése 50 mm-es drifttávolságot eredményez. A plexitestet, zárófedeleket és az elektródákat tartó NYÁK-lemezeket átmenő csavarok szorítják össze, a hermetikus zárást a köztük elhelyezett gumilapok és ragasztás biztosítja. A gáz be- és kivezetésére csőcsonkok vannak a plexitest megfelelő furataiba ragasztva, az elektromos kivezetések pedig a hosszabbra hagyott, ezért a kamratestből kissé kiálló NYÁK-lapok célszerűen kialakított, forrasztásra alkalmas felületeire csatlakoznak. A katóddal szemközti zárósíkon kvarcüvegből készült ablak

kapott helyet. Ezen a jó ultraibolya fényáteresztőképességű ablakon keresztül jut a katód felületére a fotoeffektust kiváltó UV lézerimpulzus. A kamrán belüli gázhőmérséklet mérését az anódsík mellett elhelyezett vas-konstantán termopár teszi lehetővé.



13. ábra A driftkamra és a lézer elrendezési vázlata

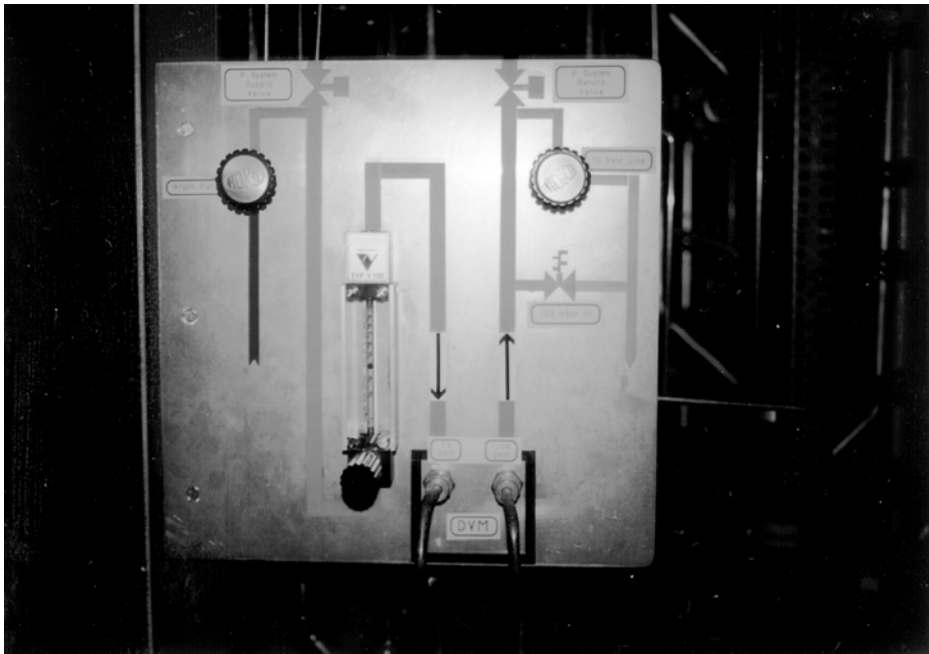
A teljes kamra, az UV lézer és a (későbbiekben ismertetendő) “front-end” elektronikai egységek egy nagyméretű fémdobozban az L3 kísérlet P 5 szintjén, a müon-gázrendszer közvetlen közelében helyezkednek el (14.ábra).



14. ábra A lézer és a driftkamra (felette az előerősítő) a fémházban

A műonkamrák gázáramlási rendszerébe a tesztkamra rézcsövekkel csatlakozik. A ki- és beáramlási oldalon egyszerre működtethető mágnesszelepek segítségével a kamra gáztere leválasztható a gázellátó rendszerről (a kísérlet évenkénti hosszabb leállításai alkalmával, valamint a tesztkamra javítása esetén ezt mindig meg is tettük). Az újbóli bekapcsolások előtt a tesztkamra gázterét argongázzal átöblítjük kb. egy napon keresztül, és csak ezután nyitjuk a mágnesszelepeket. A beáramlási oldalon liter/órában skálázott átfolyásmérő és szabályozószelep segítségével (15. ábra) állítható be

a tesztkamrán átáramoltatott gázmennyiség (a számítások és a tapasztalatok alapján ezt kb. 4 l/óraban állapítottuk meg).



15. ábra A DVM gázáramlás-szabályozó elemei és bekötésük

A vezérlő és adatfeldolgozó rendszer, valamint a nagyfeszültségű tápegységek a CERN tűzvédelmi és biztonsági előírásainak megfelelően mintegy 10 méterrel távolabb, szabványos keret- és szekrényrendszerben kaptak elhelyezést.

3.3 A tesztkamra főbb funkcionális egységei és működésük ismertetése

Ahogy az előzmények tárgyalásánál a 2.2 fejezetben már említettem, az L3 tesztkamrában ultraibolya lézer fotoeffektus révén váltja ki az aranyozott katódsíkból az elektronokat. A VSL-337 típusú nitrogénlézer 3 ns-os, 120 μ J energiájú, 337 nm hullámhosszúságú ultraibolya fényimpulzusokat bocsát ki. Az impulzusok gyakorisága a beépített triggerelektronikával kb. 1-20 Hz között beállítható, illetve külső triggerelés is lehetséges.

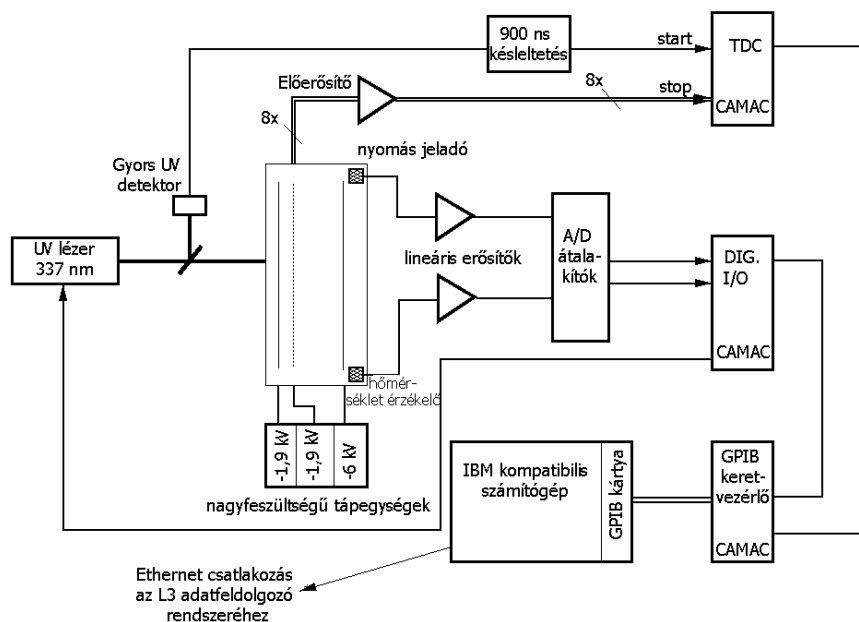
A nitrogénlézer fenti tulajdonságaiból kettő is rendkívül előnyös a tesztkamra működése szempontjából. A 337 nm-es hullámhossznak megfelelő 3,68 eV-os fotonenergia közel van az elektronoknak a fémekből való kiváltásához szükséges 4-5 eV-hoz, ugyanakkor jóval alacsonyabb a kamrában alkalmazott gáz ionizációs potenciáljánál (argonra ez 15,7 eV, etánra 11.6 eV). Így a gáz ionizációjából származó elektronok nem zavarják az időmérés pontosságát. A másik előny a rövid, néhány ns -os lézerimpulzus, mely lehetővé teszi, hogy a lézerimpulzus egyidejűleg az időmérés számára indítójelként is szolgáljon. Ebből a célból a lézernyalábot egy kvarcüveglemezzel átmenő és visszavert nyalábra bontjuk (13. ábra), s az utóbbiból egy gyors UV fotodetektor segítségével startjelet állítunk elő az idődigitalizáló (TDC) egység számára.

A lézer kb. 3 x 8 mm átmérőjű átmenő nyalábja egy homorú lencsén áthaladva kb. 15 x 40 mm-es fényfolttá bővülve éri el a katód felületét. Ezzel a nagyobb felülettel szemközt így 6-8 anódszárról is kapunk az időméréshez felhasználható stopjeleket egyetlen lézerimpulzussal, ami jobb statisztikát eredményez. Ezt tovább javítjuk azzal, hogy több száz lézerimpulzussal

megismételjük a mérést, majd az eredményeket anódszálanként átlagoljuk. Ez amiatt is szükséges, mert a nitrogénlézerek nyalábján belül a térbeli energiaeloszlás minden impulzusnál változik.

A következő szakaszban a tesztkamra működését főbb elemeinek funkcionális blokkvázlatán követjük nyomon (16. ábra).

A vezérlő számítógép által triggerelt lézer átmenő nyalábja kiváltja az elektronokat a katódból, melyek megkezdik a sodródást a kamra elektromos terében az anód felé. Ugyanekkor a lézernyaláb kvarcüveg-lemeztől visszavert kisebb intenzitású része jelet vált ki a gyors UV-diódában, mely 900 ns-os késleltetéssel indítja a nyolccsatornás idődigitalizálót (TDC). A késleltetésre azért van szükség, hogy a start- és stopjelek időkülönbsége ne haladja meg a TDC specifikációjában meghatározott 150 ns-os maximumot. Az elektronok hozzávetőlegesen 1 μ s idő alatt teszik meg az 50 mm-es drifttávolságot, majd az anódszálakra érkeve egy nyolccsatornás driftkamra-előerősítőn és jelformálón keresztül stopjeleket generálnak az idődigitalizáló számára. Innen minden lézerimpulzus után a vezérlő számítógép olvassa ki a mért időket, majd 150 impulzus után átlagolja és merevlemezen tárolja az időadatokat.



16. ábra A driftsebesség-ellenőrző rendszer blokkvázlata

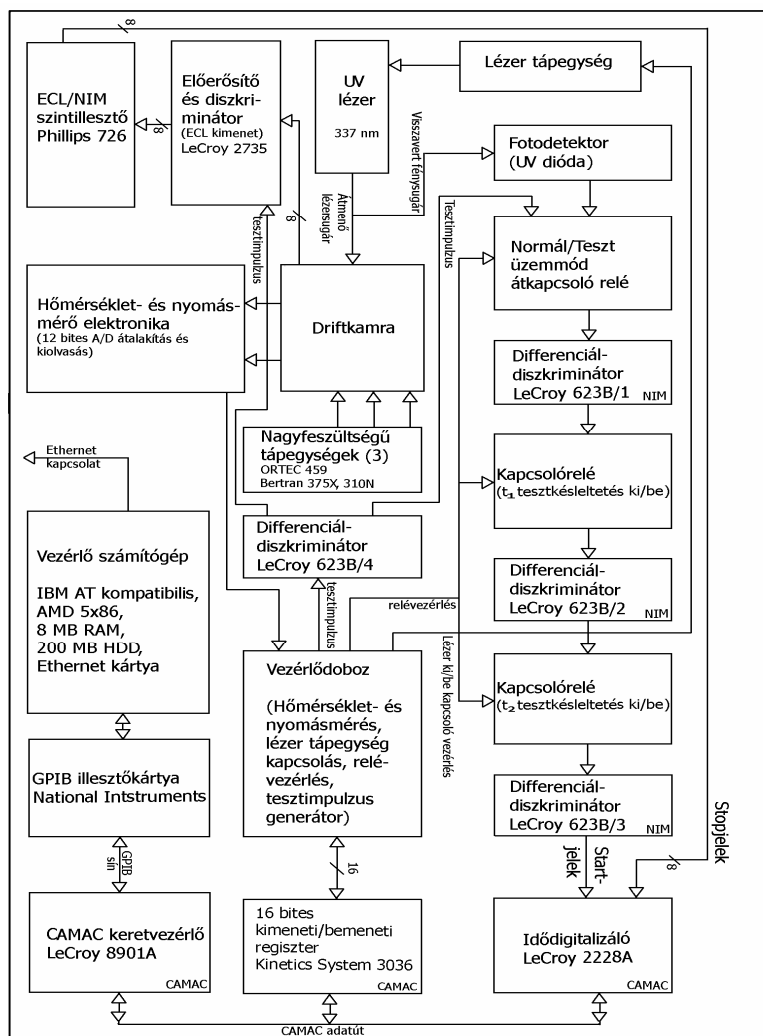
Minden driftidőadat mellé bejegyzi a program a mérés időpontját, valamint a kamra belsejében uralkodó nyomást és hőmérsékletet. E mérésekhez a kamrában elhelyezett félvezetős nyomás - jeladó, illetve vas-konstantán termopár jelét használjuk fel, erősítés, illetve analóg-digitális átalakítás után. Az A/D átalakítók kiolvasását, a lézer triggerelését és egyéb, később ismertetendő kapcsolófunkciók ellátását a számítógép egy digitális kimeneti/bemeneti kapu segítségével végzi, megfelelő illesztőegységek közbeiktatásával. A számítógépen FTP szerver is fut, és Ethernet vonalon keresztül kapcsolódik az L3 adatfeldolgozó rendszeréhez, így a driftidőadatok tetszőleges időben és helyről elérhetők.

3.4 A tesztkamra működésének és felépítésének részletes leírása

A 3.3 fejezetben főbb vonalaiban már ismertettem a driftidőmérés módját. Most a 17. ábra részletes blokkdiagramja segítségével mélyebben is elemezzük ezt a folyamatot, majd a rendszer többi elemének működését is. A vezérlőrendszer és program, valamint a mérési eredmények ismertetése pedig a 4. fejezetben található.

3.4.1 A driftidő-mérés

Az ábra jobb oldali harmadában tüntettük fel az időmérés startjelének állomásait az UV diódától az idődigitalizálóiig. A startjel első ránézésre talán indokolatlanul bonyolultnak látszó útját egyfelől a startjel viszonylag nagy, 900 ns-os késleltetése, másfelől a kalibrációs (teszt-) üzemmódba való átkapcsolhatóság megvalósítása indokolja. Utóbbira azért van szükség, mert az elektronika esetleges stabilitási problémái könnyen meghamisíthatják a driftidőadatokat. A lehetőségekhez mérten biztosítani kell tehát, hogy az elektronika késleltetésének változásaiból eredő hibát a mérési adatokban korrigáljuk. Ehhez minden „normál” méréssorozat előtt kalibrációs üzemmódban teszteljük az elektronika stabilitását. Ilyenkor az UV dióda startjele helyett a többfunkciós vezérlődobozban elhelyezett monostabil multivibrátorral állítunk elő „mesterséges” startjelet (a 17. ábrán teszimpulzus néven szereplő vezeték).



17. ábra Az új vezérlőrendszer és a teljes elektronika vázlatja

Ezt a jelet egy differenciál-diszkriminátor segítségével végzett formálás és kettéosztás után egyrészt a driftkamra előerősítőjének tesztbemenetére, másfelől a startjelnek az UV dióda utáni szokásos útvonalába csatoljuk be egy átkapcsolórelé segítségével.

Normál üzemmódban a startjel 900 ns-os késleltetését három részre osztott 50 Ω -os koaxiális kábelszakasz valósítja meg, minden szakasz után egy-egy differenciál-diszkriminátor beiktatásával, melyek a hosszú késleltetőkábelek csillapító és jeltorzító “mellékhatását” hivatottak korrigálni a jel regenerálásával és formálásával. Kalibrációs üzemmódban ezekre a kábelekre nincs szükség, hiszen ilyenkor a kamra késleltetési ideje, ami miatt a startjel 900 ns késleltetésére szükség volt, kiesik. Ezért mindhárom kábelszakaszt egy-egy kapcsolórelével rövidre lehet zární, és a mesterséges startimpulzus időzítésében ilyenkor csak az aktív elektronikai elemek késleltetési ideje játszik szerepet. Ezeket a reléket is a vezérlődobozon keresztül kapcsoljuk, mely természetesen – mint minden a DVM rendszerben – a számítógép, illetve a rajta futó vezérlőprogram felügyelete alatt működik.

A startjel után most a stopjelek útját követjük végig. Normál üzemmódban a startjelek kiváltói a kamrán belül a drifttávolság megtétele után az egyes anódszálakra felfutó elektronok. Az anódszálak egy LeCroy 2735DC típusú 16 csatornás driftkamra-előerősítő kártya bemeneteire csatlakoznak [19]. Ezt a kártyát kifejezetten nagy felbontású, driftkamrás időméréshez fejlesztette ki a cég. Az áramkör közvetlenül a kamrán nyert elhelyezést (14. ábra). Kimenetei ECL szabványúak, a jeleket csavart érpárokön továbbítjuk a kamra házáól az elektronikai egységek zömét tartalmazó, távolabb elhelyezett szekrényhez. Mivel a TDC bemenetei NIM szabványúak, a stopjeleket egy nyolccsatornás

ECL/NIM szintáttevő segítségével konvertáljuk, és így vezetjük a TDC - hez. Kalibrációs üzemmódban a stopjelek útja ezzel teljesen megegyező, de ilyenkor kiváltásuk az előző bekezdésben leírt módon előállított teszimpulzus segítségével történik, mely koaxiális kábelen jut el az előerősítő kártya tesztbemenetére.

Az idődigitalizáló egy LeCroy 2228A típusú nyolccsatornás TDC [20]; ide érkezik az előbb tárgyalt módokon a közös startjel és a 8 stopjel. Maximális felbontása 50 ps a 0-100 ns mérési tartományban, illesztőfelülete CAMAC szabványú. Az időadatok feldolgozását a vezérlőrendszer és program tárgyalásánál ismertetem.

3.4.2 Hőmérséklet- és nyomásmérés

A hőmérsékletmérésre a kamratestbe ragasztott vas-konstantán termopár szolgál. A nyomásméréshez félvezető nyomás - feszültség átalakítót alkalmazunk. Mindkét esetben a feszültség mérése híd módszerrel történik; az AD átalakító 10 voltos referenciafeszültségét a hidakhoz is felhasználjuk; a hídba a jeleket feszültség-áram átalakító és feszültségkövető közbeiktatásával csatoljuk. Mindkét híd különbségi jele erősítés után egy-egy AD574A típusú 12 bites analóg-digitális átalakító bemenetére kerül. A hőmérséklet- és nyomásmérés közti átkapcsolást a vezérlődobozban elhelyezett digitális multiplexer végzi, melyet a CAMAC kimeneti regiszter egy bitje vezérel. Az A/D átalakítók kiolvasott értékeit a bemeneti regiszterrel olvassuk be.

3.4.3 A vezérlődoboz és a kimeneti/bemeneti regiszter

Az eddigiekben már többször említett, a NIM szabványnak megfelelő doboz házilag készült, és olyan egyszerű kiegészítő elektronikai elemeket tartalmaz, melyeket költség- és helypazarlás lett volna kész egységekként megvásárolni. Leginkább az integrált áramkörös technikában elterjedt “berendezésorientált áramkör” (BOAK) jelző illene rá, de ez hagyományos passzív és aktív áramköri elemekből (utóbbiak főleg szabványos TTL digitális IC-k) épül fel. Emellett dobozának előlapja a rendszer elemeit összekötő különböző csatlakozók elhelyezésére is szolgál.

Az előző pontokban részletezett funkciói alapján összefoglalva a következő elemeket tartalmazza:

- tesztimpulzus-generátor a kalibrációs üzemmód számára
- a lézer tápegység ki/be kapcsolás meghajtója
- relémeghajtók a kábeles késleltetések kapcsolására
- multiplexer a hőmérséklet/nyomás mérés átkapcsolására
- a driftkamra-előerősítő és a hőm./nyomásmérés tápegysége

A vezérlődoboz funkcióinak aktiválása, illetve a kiolvasás egy CAMAC szabványú 16 bites digitális kimeneti/bemeneti regiszter segítségével történik (Kinetics Systems 3036) [21] .

4. EREDMÉNYEK

Mivel disszertációm témája detektorfejlesztés volt, az előző kísérleti rész szerves folytatásaként ebben a fejezetben ismertetem a DVM rendszer építésének, hardver- és szoftverfejlesztésének azon eredményeit, melyek saját munkámon alapulnak (tehát az 1996-tól a LEP 2000. évi leállításáig terjedő időszakban születtek).

4.1 A DVM új vezérlőrendszere

1994-ben a tesztkamrarendszer első változatában használt VME szabványú vezérlőrendszer és az elektronikai egységek közül néhány megjavíthatatlanul (illetve irreális költséggel javíthatóan) tönkrement egy, a rendszer közelében nem kellő elővigyázatossággal végzett elektromos szerelési munka következtében. Mérlegelve a műszaki és pénzügyi lehetőségeket, témavezetőmnek egy olyan megoldásra tettem javaslatot, mely az eredeti elemek javítási költségeknél jóval alacsonyabb áron tette lehetővé egy üzembiztosabb és jobb vezérlőrendszer megépítését. Fontos szempont volt az is, hogy a driftidő-adatokat külső számítógépről is el lehessen érni, ami a korábbi eszközökkel csak kezdetleges, korlátozott módon volt megoldott. Az eszközök beszerzése után az új vezérlőrendszert először Debrecenben állítottam össze, és itt végeztem a szoftverfejlesztés zömét is. Végül azokat a feladatokat, melyekhez már elengedhetetlen volt a rendszer valamennyi elemének jelenléte, a CERN-ben fejeztem be.

A 3.4 fejezetben ismertetett CAMAC szabványú modulokat (TDC, illetve kimeneti/bemeneti regiszter) egy LeCroy 8901A keretvezérlő [22] kontrollálja. Választásom azért esett erre a típusra, mert GPIB illesztőfelülettel rendelkezik, melyhez megfelelő bővítőkártya segítségével személyi számítógép kapcsolható. Így a teljes CAMAC rendszer ezzel a számítógéppel, illetve a rajta futó programmal vezérelhető.

A számítógép egy átlagosnak tekinthető IBM kompatibilis PC, 5x86-os, 133 MHz-es AMD processzorral, 8 Mbyte RAM-mal és 200 Mbyte merevlemezzel felszerelve. Utóbbit a P5 gázsztinten uralkodó, a szokásosnál kissé mostohább körülményekre való tekintettel különleges, rugalmas felfüggesztéssel csatlakoztattam a ház belsejéhez. A GPIB illesztőfelületet az egyik ISA csatlakozóban elhelyezett National Instruments gyártmányú, AT-GPIB/TNT típusú bővítőkártya [23] biztosítja. A „külvilág” felé egy Ethernet kártya teremti meg a kapcsolatot. Mivel az L3 gázsztinten korábban nem épült ki Ethernet csatlakozási pont, a CERN hálózatépítő csoportjától kapott irányelvek alapján kiépítettem egy kb. 50 méter hosszú Ethernet (AUI) vonalat a legközelebbi csomóponttól (a mágnes-vezérlőteremből); a gép számára a `pcl3dvm.cern.ch` nevet regisztráltattam.

A 18. ábrán látható a számítógép elhelyezése a P5 szinten; mellette balról a DVM elektronikai egységeit tartalmazó szekrény áll. Ebben alulról felfelé a CAMAC keret, a késleltetőkábeleket és átkapcsolóreléket tartalmazó doboz, felül a NIM keret látható a nagyfeszültségű tápegységekkel és a többi NIM modullal.



18. ábra A DVM új vezérlőrendszere

4.2 A szoftver

A számítógépen Windows 95 operációs rendszer felügyelete alatt fut egy FTP szerver és a teljes rendszer vezérlőprogramja, valamint igény esetén a grafikus adatmegjelenítő (kiértékelő-) program . A multitasking lehetőséget kihasználva az adatok az FTP szerver segítségével bármikor elvihetők anélkül, hogy a vezérlőprogram működését fel kellene függeszteni.

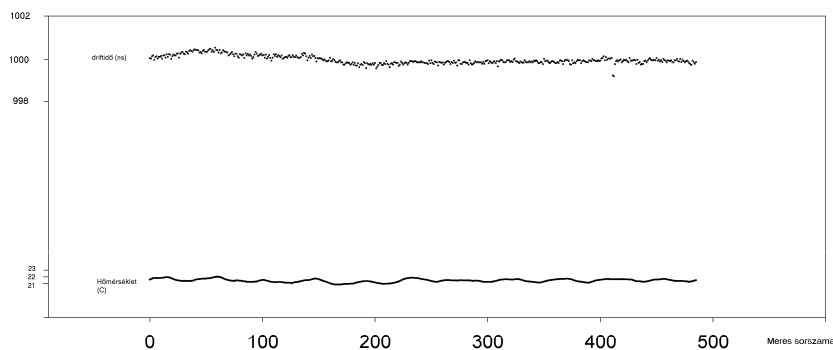
Mivel a 8901A keretvezérlőhöz nem állt rendelkezésre működőképes C nyelvű meghajtóprogram-gyűjtemény, a közvetlen vezérlés programját

Microsoft QuickBasic nyelven írtam, míg a közvetlen hardverhivatkozásokat nem tartalmazó megjelenítőprogram C++ nyelvű. Mindkét program lefordított .exe állományként fut a számítógépen. Az itt tárgyalt hardverfejlesztésekkel a vezérlőprogram szerves egységet képez, ezért forrásnyelvi listáját elhelyeztem az F4 függelékben. Az ennél terjedelmesebb, de többé-kevésbé független egységet képező megjelenítőprogramot helytakarékossági okokból kinyomtatott formában itt nem mellékelem, de az alábbi honlapról letölthető: indykfi.phys.klte.hu/~zilizi/index.html

A mérő- és vezérlőprogram indításakor egy menüvel jelentkezik be, mely többek között lehetőséget biztosít arra, hogy a működés egyes kezdeti paramétereit beállítsuk. Ezek elsősorban a mérésenkénti lézerimpulzusok számát (általában 100 - 300), illetve a mérések ismétlésének gyakoriságát (~ 10 - 40 perc) jelentik. Szintén a menüből indítható az automatikus mérés a megadott paraméterekkel. Ezután a mérési ciklus lényeges elemei a 3.3 alfejezetben már leírtaknak megfelelően zajlanak. A program átkapcsolja a rendszert tesztüzemmódba, elvégzi a kalibrációs mérést, valamint méri a nyomást és a hőmérsékletet. Ezután visszakapcsol normál üzemmódba és bekapcsolja a lézert. A lézerimpulzus megjelenése indítja a driftfolyamatot a kamrában és 900 ns késleltetéssel a TDC-t. Kb. 1 μ s múlva az elektronok anódszálakra való megérkezése kiváltja a stopjeleket. A TDC LAM jelet generál a CAMAC vezérlő felé, valahányszor érvényes időmérési adat tárolódott el a regisztereiben. Ezt a megfelelő GPIB funkciók [24] segítségével figyelni a vezérlőprogram, az időadatokat mind a nyolc csatornából beolvassa, majd törli a LAM jelet. A megadott számú (több száz) lézerimpulzustól eredő érvényes időadat regisztrálása után a program kikapcsolja a lézert, majd az

ideiglenesen tömbben tárolt időadatokból előbb anódszálanként, majd teljes átlagot képez. Az így kapott driftidőt a mért hőmérséklettel, nyomással együtt sorszámmal, dátummal és időponttal ellátva a meas.dat nevű ASCII állományban rögzíti a merevlemezen. Mérés közben tájékoztatásul a részeredményeket és a program működésével kapcsolatos egyéb információkat (pl. esetleges hibaüzenetek) is megjeleníti a képernyőn. A teljes mérési ciklus a paraméterekben megadott időtartam eltelte (pl. fél óra) után indul újra; addig a rendszer „nyugalomban” van.

A kiértékelőprogram eredetileg azzal a céllal íródott, hogy szükség esetén lehetővé tegye a korábban eltárolt driftidőadatok helyszíni tanulmányozását, grafikonon való megjelenítését. Megjegyzendő, hogy a rendszer megbízható beüzemelése után erre a helyszínen igen ritkán került sor; viszont az adatok távolból történő ellenőrzésekor gyakran jó szolgálatot tett ez a program, hiszen a driftidőadatok az FTP szerveren keresztül bárhol elérhetőek voltak. Bár az ASCII adatállomány bármilyen táblázatkezelő (pl. Excel) vagy analizáló (pl. SigmaPlot, PAW) programba könnyen beolvasható, majd ott elemezhető, a legegyszerűbb és leggyorsabb áttekintést mégis ez a kifejezetten erre a célra írt program biztosítja. A megtekinteni kívánt adatállomány megnyitása után lehetőséget ad a driftidőadatok egy kiválasztott tartományának grafikus megjelenítésére (mozgatható marker segítségével a konkrét érték kiírására), az adatállományban előre-hátra mozgásra, minimum-maximum keresésére. Szintén biztosítja – választhatóan - a hőmérséklet- vagy nyomásadatok párhuzamos megjelenítését is. Egy példát láthatunk erre a 19. ábrán.

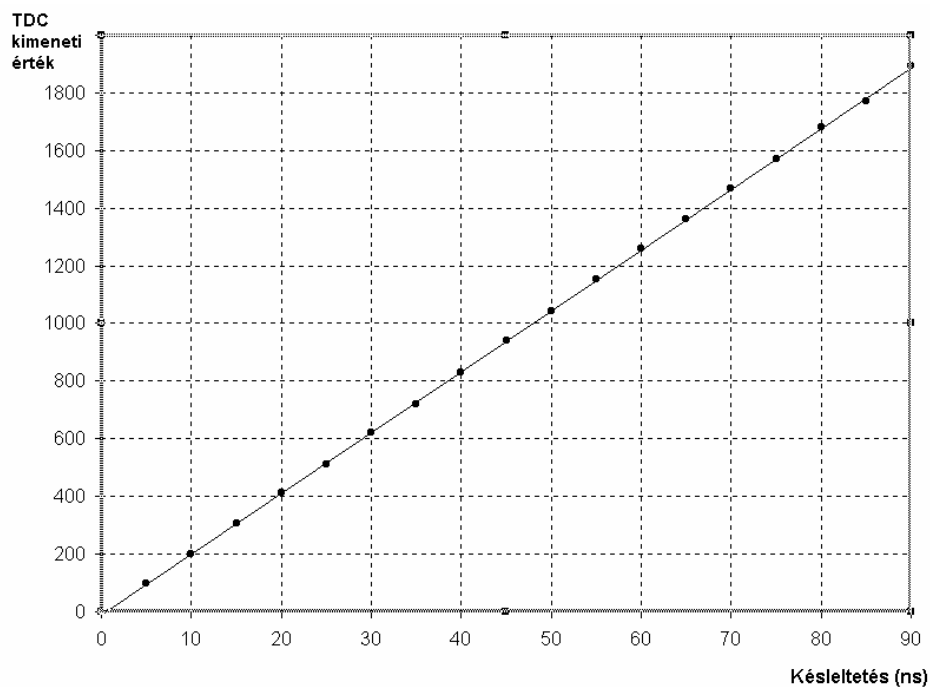


19. ábra Egy tizenöt napos mérési periódus megjelenítése a képernyőn

4.3 Az új rendszer beüzemelése, tesztmérések

Mint azt az L3 műonkamrák ismertetésénél (2.1.6 alfejezet) leírtam, a műonok transzverzális impulzusát legalább 2% -os relatív pontossággal kell megmérni. Ehhez a mágneses térben görbe pályát leíró műonok pályáján a szagittamérés hibájának $75 \mu\text{m}$ -nél jobbnak kell lennie [10]. A driftsebesség a 61.5% argon – 31.5% etán gázkeverékben normál légköri nyomáson és szobahőmérsékleten $50 \mu\text{m}/\text{ns}$, tehát a fentiek szerint a driftidő mérése során 1 ns körüli pontosságot kívánatos elérni. Ez meglehetősen magas követelményeket támaszt az időmérő rendszerrel szemben, melyek teljesüléséről a rendszer üzembe helyezése előtt tesztmérésekkel meg kellett győződni. Az új vezérlőrendszer fejlesztésekor az időmérés pontosságát és stabilitását mérések sorozatával vizsgáltam. Ehhez többek között egy Stanford Research DG535

típusú precíziós, négycsatornás digitális impulzusgenerátort használtam. E műszeren néhány 10 ps pontossággal beállítható és változtatható a kimenetein megjelenő impulzusok közti késleltetés. Az egyik kimenetet a TDC startjeleként, a másikat stopjelként használva meghatároztam a késleltetés – kimenő adat függvényt mind a 8 csatornára (20. ábra).



20. ábra A TDC egy csatornájának kalibrációja

A mérőprogram e függvényeket használja fel arra, hogy az idődigitalizálóból beolvasott értékek alapján kiszámolja a start-és stopjelek beérkezése közt eltelt időt. További ellenőrzésként az impulzusgenerátor helyett ismert késleltetési idejű (különböző hosszúságú) kábelek beiktatásával is vizsgáltam a TDC

válaszfüggvényét. A kábeles késleltetések segítségével időbeli stabilitásvizsgálatokat is végeztem külön a TDC-re, majd a teljes elektronikai rendszerre a helyszínen. E mérések alapján megállapítottam, hogy az időmérésnek az elektronika instabilitásából eredő hibája kisebb, mint 0,2 ns. A stabilitást egyébként üzem közben is ellenőrzi a mérőprogram a kalibrációs üzemmód segítségével (3.4.1 fejezet).

A fentiekhez járulnak még azok a hibák, melyek magában a kamrában lejátszódó folyamatoktól erednek (pl. a mért driftidő függése a lézerimpulzusok energiájától, a nagyfeszültségek értékétől stb). Ezek teljes körű vizsgálatára nem volt módom, mert az eredeti rendszer változatlanul hagyott kamraszerelvénye végig az L3 kísérletnél maradt, tehát a vezérlőrendszer fejlesztése során ilyen vizsgálatokat Debrecenben nem végezhettem. A CERN-ben sem volt sokkal kedvezőbb a helyzet, hiszen az L3 gázellátó rendszerébe bekötött kamránál nem volt mód a gázparaméterek változtatására vagy a kamra mechanikai megbontásával is járó vizsgálatok folytatására. Ilyen méréseket a driftkamra prototípusát kifejlesztő magyar csoport végzett [18]; ezeket az eredményeket munkám során jómagam is felhasználtam, illetve érvényesnek tekintettem, mivel a kamratest az eredeti állapotban maradt. Az akkori és a részben általam is megismételt mérések eredményei alapján az egyedi lézerimpulzusokkal végzett időmérések hibája néhány ns-ot tesz ki. A tényleges mérés során több száz impulzussal és legalább 4 anódszárról mért időadatokat átlagolásával számolja ki a program a végeredményt. A jobb statisztikának köszönhetően így a driftsebesség mérésének pontossága a kívánt ± 1 ns értéken, illetve ez alatt tartható.

4.4 A gyűjtött adatok, tapasztalatok rövid összefoglalása

A LEP utolsó két évének üzemideje alatt a driftsebességmérő rendszer félórás időközönként mérte a driftidő-, hőmérséklet- és nyomásértékeket, és ennek eredményeképpen több tízezernyi mérési adat gyűlt össze. Ezzel arányos mértékben gyarapodtak az üzemeltetéssel kapcsolatos tapasztalataim is. A fontosabb vagy valamilyen szempontból érdekesebb megfigyeléseket itt összegzem. Első példaként az 1999-ben gyűjtött adatok statisztikai jellemzésére összeállítottam az alábbi táblázatot (minden adat ns-ban értendő):

Hónap (1999.)	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás
Május	999,0	1000,6	999,80	0,22
Június	999,5	1001,5	1000,01	0,40
Július	998,6	1001,6	1000,11	0,48
Augusztus	999,1	1001,4	1000,09	0,49
Szeptember	999,1	1000,8	1000,02	0,28
Október	998,2	1001,2	999,71	0,47

Az 1999. év során mért driftidő-maximum 1001,6 ns, míg a minimum 998,2 ns volt. ($\Delta t = 3,4$ ns). A tesztkamrában az 5 cm-es drifttávolság megtételéhez szükséges időt mérjük (3.2 fejezet), amely távolság megegyezik a müonkamrák anód-katód távolságával. A fenti időkülönbség a legkedvezőtlenebb esetben tehát 170 μm hibát eredményezhetne egy müon pályájának mérésénél; ez is mutatja a driftidőmérés alapján végzett korrekció

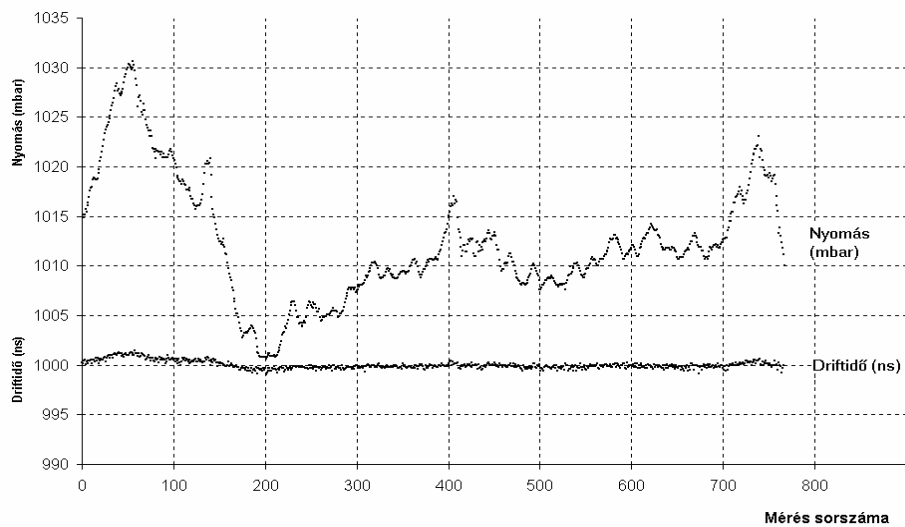
szükségességét. A gázrendszerben esetlegesen bekövetkező üzemzavarok esetén ennek az eltérésnek a sokszorososa is adódhat, amire szerencsére a normál LEP futási ciklusok alatt nem volt példa. (A gázrendszer indításakor és leállításakor viszont valóban mérhetőek voltak 10 ns-nál nagyobb időeltérések.)

A táblázatba foglalt átlagok és a szórások mutatják, hogy általában a fenti szélső értékeknél jóval kisebb a driftidő ingadozása, tehát a gázellátó rendszer stabilitása valóban elismerésre méltó.

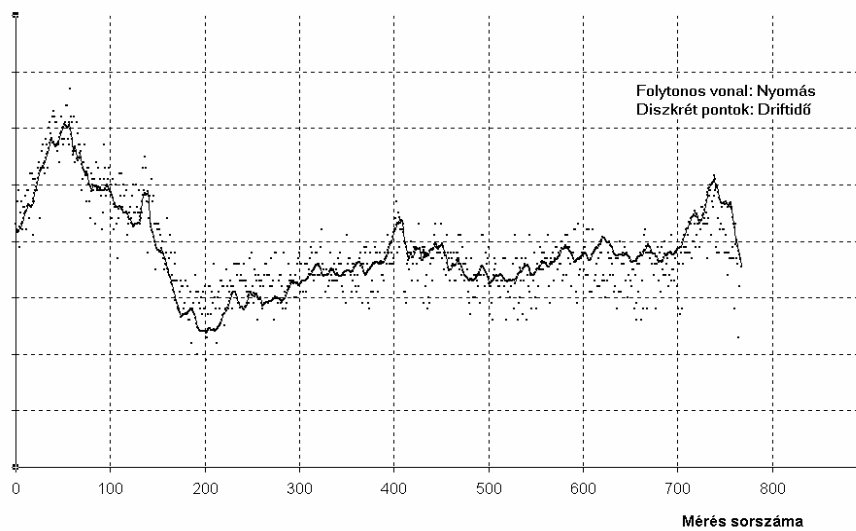
A tapasztalt driftsebesség-ingadozások fő oka a légköri nyomásváltozásból eredő gáznyomás-ingadozás volt, ez a mérési adatokból egyértelműen kiderül. Példaként a 21. ábrán egy olyan időszak driftidő- és nyomásadatait ábrázoltam közös koordináta-rendszerben, amikor a kamrában a gáz nyomása az átlaghoz képest pozitív és negatív irányban is változott néhány napon belül; szemléletes példát szolgáltatva a két adat összefüggésére.

A 22. ábrán a két függvény korrelációja jobban látszik a driftidőadatok megnyújtása és eltolása után (itt természetesen a skála nem kalibrált).

Megjegyzendő, hogy a mért nyomásváltozásokat időnként egybevetettem internetes meteorológiai adatforrásokkal, és az ott publikált légnyomásértékekkel mindig jó egyezést tapasztaltam.

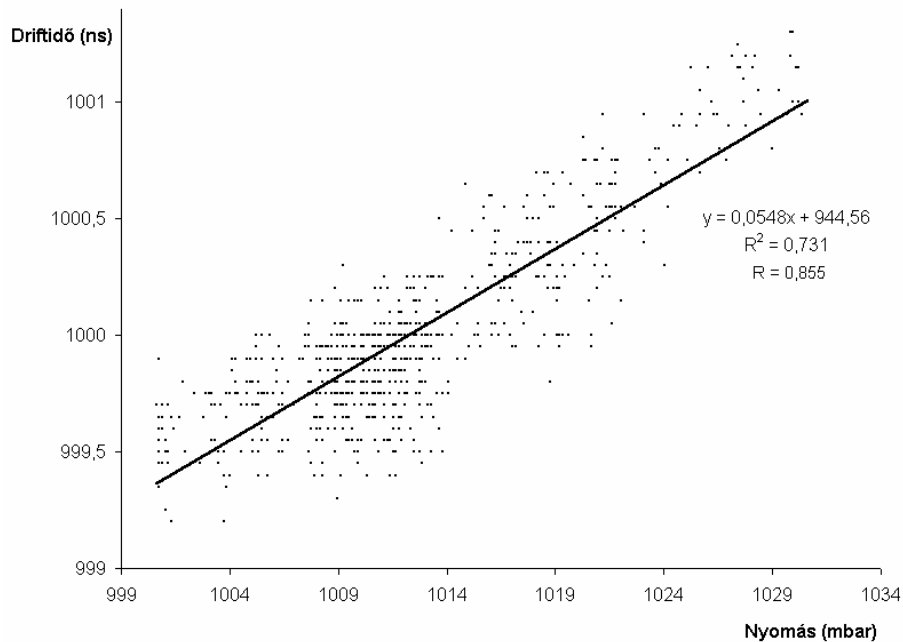


21. ábra Driftidő- és nyomásadatok 1999. június 4-21 között



22. ábra A nyomás és a driftidő korrelációjának grafikus szemléltetése

Bár a driftidő nem lineáris függvénye a nyomásnak [12], és a driftsebesség a nyomáson kívül még más paraméterektől is függ, a viszonylag kis relatív nyomásváltozás miatt próbaképpen egyváltozós lineáris regresszióanalízist is végeztem e két változóra, melynek eredménye a 23. ábrán látható.



23. ábra A nyomás és driftidő lineáris regressziója

A hőmérséklet a fenti időszak alatt nem változott számottevően. Ez igaz egyébként a teljes két éves periódusra. A légkondicionálásnak köszönhetően a detektorcsarnok hőmérséklete egy-két Celsius fokon belül stabil maradt, így a hőmérsékletváltozásból eredő driftsebesség-változás elhanyagolható, illetve nem is mérhető.

5. ÖSSZEFOGLALÓ

A CERN-i L3 detektor legkülső részén elhelyezett müondetektorok (driftkamrák) feladata a müonok pályájának meghatározása. A pontos pályameghatározás csak akkor lehetséges, ha a kamrák töltőgázában a töltött részecskék driftsebessége ismert értékű. Ezt a működés során folyamatosan ellenőrizni és regisztrálni kell, hogy az analízis során a pályák kiszámításánál a szükséges korrekciót figyelembe lehessen venni. E feladat megoldásának több lehetséges bevált módja van. A disszertációmban ismertetett megoldásnál az ellenőrzést egy, a müonkamrákkal azonos geometriájú tesztkamra végzi, a hozzá kapcsolódó elektronikai egységek és vezérlőprogram segítségével (Drift Velocity Monitor, DVM). A tesztkamrában a valódi müonok keltette töltések helyett egy ultraibolya lézer az aranyozott katódfelületből vált ki fotoelektronokat. A kapcsolódó elektronika az elektronoknak az anódszálakra való megérkezésének idejét méri (valamint a hőmérsékletet és a nyomást). A mért adatokat, és a mérés pontos idejét a vezérlő számítógép egy adatbázisban tárolja, mely hozzáférhető az L3 központi számítógéprendszere és a fizikai analízist végzők számára is.

A feladat megoldásához felhasználtam egy korábban hasonló céllal készült, de a felmerült hardver-és szoftverhibák miatt nem használt rendszer azon elemeit, amelyeket az új fejlesztésben is hasznosítani tudtam. A rendszer vezérlését az előző hibák révén szerzett tapasztalatok alapján teljesen kicseréltem, más hardvereszközökkel oldottam meg, és új vezérlőprogramot írtam.

Az 1999-es LEP üzemidőszak elejére elkészült a DVM vezérlőprogramja véglegesnek tekinthető verziója, amit a CERN-ben részletes teszteknek vettem alá. A helyszíni tapasztalatok alapján az elektronikában és a vezérlőprogramban elvégeztem néhány további kisebb módosítást, majd a berendezést véglegesen üzembe helyeztem. Egy Ethernet-vonal kiépítése tette lehetővé, hogy TCP/IP protokollon keresztül a rendszer által gyűjtött adatok bárholra, így az L3 vezérlőteremből és Magyarországról is egyformán hozzáférhetőek legyenek, valamint hogy a működésbe szükség esetén távolról is be lehessen avatkozni, a programon módosítani stb. Az 1999. áprilisi indítás után a rendszer kisebb üzemzavaroktól eltekintve a LEP program lezárásáig futott; az 1999-es és a 2000-es LEP üzemidőszakról gyűjtött adatok rendelkezésre állnak, ezalatt az eszköz folyamatosan szállította a driftsebesség-adatokat az L3 kísérlet számára. Megállapítható, hogy a normál LEP futás közben a DVM volt az egyetlen eszköz, amellyel az L3 műonkamrák gázkeverékében a driftsebességet közvetlen módszerrel, 1 ns-nál alacsonyabb hibával mérni lehetett, így a rendszer működése valóban fontos az L3 kísérlet számára, mind a rendellenességek időben történő jelzése, mind a későbbi adatanalízis szempontjából.

A későbbiekben talán lehetőség nyílik más nagy kísérletekben is kamatoztatni az L3 tesztkamrával szerzett tapasztalatokat. Csoportunk tagja a Nagy Hadronütköztető Gyűrűn most épülő CMS kísérletnek is, ahol más vállalt feladataink mellett a tesztkamrarendszer egy megfelelően átdolgozott verziója az egyik elképzelhető hozzájárulás lehet a Kísérleti Fizikai Tanszék részéről.

6. SUMMARY

Drift chambers are widely used in high energy physics experiments for measuring particle tracks with 50-100 μm accuracy - provided the drift velocity of the electrons in the chamber is known and stable. This value, however, can change due to changes of different factors, e.g. the parameters of the electric or magnetic field or due to changes of gas parameters.

Most of the gas parameters are usually measured and monitored separately in the gas supply systems of the detectors. However, any unexpected effect or a parameter that is not measured may cause changes in the drift velocity. A monitor system that measures drift velocity directly in the gas mixture may give an early warning about unforeseen changes.

The construction and results of a drift velocity monitor (DVM) system are described and discussed in this thesis. The DVM has been built for monitoring the drift time changes in the muon chambers of the L3 detector at CERN.

The DVM chamber and its electronics are installed at the P5 (gas) level of the L3 experiment and the chamber volume is connected between the gas supply and return manifold of the L3 “p” muon chambers.

The geometrical arrangement (electrode structure) of the test chamber is the same as of the large L3 muon drift chambers, but the cathode plane is a gold-coated copper surface instead of wires. UV laser pulses are used to liberate electrons from this surface, with simultaneous triggering of the time measuring device. For the latter purpose, part of the laser light is reflected

from a quartz beam splitter into a fast UV-sensitive photodetector. This signal serves as common start signal for an 8 channel time-to-digital converter (TDC). The photoelectrons emitted from the cathode drift towards the sense (anode) wires. Additional electrodes and appropriate high voltages are used to keep the electrical field symmetric around the anode plane and to ensure the same working conditions as the large L3 muon chambers have. The laser light illuminates the cathode plane through the beam splitter, an UV-transparent quartz window and a diverging quartz lens that enlarges the beam spot. This results in better statistics, because electrons are emitted from a larger area of the cathode plane and reach 6-8 anode wires in parallel. The anode signals are individually amplified and shaped by a drift chamber preamplifier, then serve as stop signals for the 8 channel CAMAC TDC.

The gas pressure inside the chamber is measured by a semiconductor pressure transducer, while a steel-constantan thermocouple is used for temperature measurement. The analog signals of these sensors are amplified, digitized by an ADC and read out by a CAMAC I/O register. In output mode, the same register activates the different functions and operating modes of the DVM system. The whole system is controlled and all data is processed by an IBM AT compatible computer through a GPIB card and a GPIB CAMAC crate controller. The collected data is accessible for the L3 DAQ system any time with the help of a dedicated Ethernet line and a local FTP server.

The DVM with the above described new, sophisticated control system started to operate in 1998 and drift velocity data had been continuously collected during the 1998 – 2000 LEP runs. A summary of the results is presented in Chapter 4.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] *The LEP experiments: ALEPH, DELPHI, L3 and OPAL*
Nuclear Instruments and Methods, A378: 101 (1996)
- [2] B. Adeva et al.: *The Construction of the L3 Experiment*
Nuclear Instruments and Methods, A289: 35-102 (1990)
- [3] M. Acciari et al.: *The L3 Silicon Microvertex Detector.*
Nuclear Instruments and Methods A351: 300-312 (1994)
- [4] H. Tuchscherer, L. Baksay, S. Juhász, P. Raics, S. Szegedi,
J. Szabó, Z. Szillási, Gy. Zilizi, G. Viertel, S. Waldmeier:
The new Laser Displacement Monitor System for SMD.
L3 Report, CERN, Geneva, 26 Jan 1996
- [5] G. Viertel et al: *A Time Expansion Chamber as a Vertex Detector*
Nuclear Instruments and Methods A263: 01-09 (1988)
- [6] D. N. Ren: *The L3 Vertex Chamber Development and Infrastructure*
Thesis, ETH Zürich 1990
- [7] I. A. Bakken et al., Nucl. Instr. and Methods A254: 199 (1987)
M. Schneegans, Nucl. Instr. and Methods A257: 528 (1987)
- [8] U. Uwer: *Aufbau und Eichung der Scintillationszählers des L3-Experiments* Diplomarbeit, III. Phys. Inst. der RWTH Aachen, 1990
- [9] Yu. Galaktionov et al., Nucl. Instr. and Methods A251: 258 (1986)
A. Arefiev et al., Nucl. Instr. and Methods A288: 364 (1990)
O. Adriani et al., Nucl. Instr. and Methods A302: 53 (1991)
- [10] G. Chieffari et al: *Muon detection in the L3 experiment at LEP*
Nucl. Instr. and Meth. A277: 187-193 (1989)

- [11] S. Lanzano et al: *Test results of the L3 precision muon detector*
Nucl. Instr. and Meth. A289:335-341, 1990
- B. Adeva et al: *Performance of the L3 precision muon spectrometer in the first year of run at LEP* 4th Topical Seminar on Perspectives for Experimental Apparatus for High-energy Physics and Astrophysics, San Miniato, Italy, 28 May - 1 Jun 1990. "Experimental apparatus for high energy particle physics and astrophysics" p. 230-240
- [12] Peter Rice-Evans: *Spark, Streamer, Proportional and Drift Chambers*
The Richelieu Press Ltd. London 1974
- U.Becker, M.Capell, M.Chen, M.White: *Special Gas Mixtures with very small drift Angles at low Drift Velocities*
Nuclear Instruments and Meth. A 214: 525 (1983)
- [13] K. Fujii et al., Nucl. Instr. and Meth. A245: 35 (1986)
- B. Krause and S. Mason, RWTH Aachen, PITHA-87/06 p.90 (1987)
- T. Yamashita et al., Nucl. Instr. and Meth. A282: 709- (1989)
- [14] C.M. Ma, U. Becker, D.A. Ma and A. H. Walenta, MIT Technical Report No. 129 (198)
- [15] J. Konin, F. Hartjes: *Electron Drift Velocity Close to a Sense Wire*
Nuclear Instruments and Methods A276: 582-584 (1989)
- H. J. Hilke: *Detector Calibration with Lasers – a Review*
Nuclear Instruments and Methods A252: 169-179 (1986)
- R. DeSalvo: *Laser Calibration of Drift Chambers*
Nuclear Instruments and Methods A235: 509-516 (1985)
- [16] A. A. Vorobyov et al., Nucl. Instr. and Meth. A301: 167- (1991)
- [17] L. Baksay et al., Proceedings of HEXAM '89 Conference, p. 128
Bechyne, Czechoslovakia, 1989

- [18] L. Baksay et al.: *Apparatus for Precise Drift Time Change Measurements by Means of Photoelectrons Emitted from the Cathode*
Nuclear Instruments and Methods A310: 607-612 (1991)
- [19] Model 2735DC 16 Channel Wire Chamber Card (Manual)
LeCroy Corporation, Chestnut Ridge, USA (1988)
- [20] Model 2228A Octal Time-to-Digital Converter (Operator's Manual)
LeCroy Corporation, Chestnut Ridge, USA (1985)
- [21] Kinetics Systems 3036 IGOR module (Manual)
Kinetics Systems Corporation (1989)
- [22] Model 8901A GPIB-to-CAMAC Interface (Operator's Manual)
LeCroy Corporation, Chestnut Ridge, USA (1996)
- [23] <http://www.ni.com/catalog/>
- [24] GPIB NI-488.2M User Manual for Windows95 and WindowsNT
GPIB NI-488.2M Function Reference Manual for Win32
National Instruments Corporation 1996

FÜGGELÉK

F1. Az L3 kísérlethez kapcsolódó publikációim

1. M. Acciari, Gy. Zilizi et al.: *The L3 Silicon Microvertex Detector*. Nuclear Instruments and Methods A351 (1994) 300-312
2. M. Acciarri, Gy. Zilizi et al.: *The L3 Silicon Microvertex Detector*. 6th Pisa Meeting on Advanced Detectors: Frontier Detectors for Frontier Physics, La Biodola, Elba, Italy, 22-28 May 1994. Nuclear Instruments and Methods A360:103-109,1995
3. B. Brinkley, J. Busenitz, Gy. Zilizi: *Wire tension measurement using voltage switching*. Nuclear Instruments and Methods A373 (1996) 23-29
4. M. Behrens, H. Tuchscherer, P. Raics, Gy. Zilizi, S. Juhász, Z. Szillási, J. Szabó, Zs. Szabó, T. Sztaricskai, S. Nagy, Gy. Marián, Gy. Bencze, A. Ádám, J. Kornis: *A precision displacement monitoring system for Silicon Strip Detectors*. Bull. American Phys. Soc. 41 8 (1996) 1656.
5. H. Tuchscherer, L. Baksay, S. Juhász, P. Raics, S. Szegedi, J. Szabó, Z. Szillási, Gy. Zilizi, G. Viertel, S. Waldmeier: *The new Laser Displacement Monitor System for SMD*. L3 Report, CERN, Geneva, 26 Jan 1996
6. L. Baksay, S. Juhász, P. Raics, S. Szegedi, J. Szabó, S. Nagy, T. Sztaricskai, Z. Szillási, Gy. Zilizi, Gy. Marián: *New laser displacement monitoring system for the L3 experiment at CERN*. Proc. International Conference of Physics Students, 18-24 Aug 1996, Szeged, Hungary
7. Marián Gyöngyi, Baksay László, Mark Behrens, Nagy Sándor, Raics Péter, Szillási Zoltán, Szabó József, Sztaricskai Tíbor, Zilizi Gyula: *Az SMD lézerrendszer adatainak kiértékelése a CERN-i L3 kísérletben*. Proc. MicroCAD-98 konf.: Biofizika és számítógépes fizika, 1-11 Miskolc, 1998

8. L. Baksay, P. Raics, S. Szegedi, J. Szabo, S. Nagy, Tibor Sztaricskai, S. Juhász, Z. Szillási, Gy. Marian, Gy. Zilizi: *L3 related projects at Debrecen*. ECFA Meeting, Budapest, 3 September, 1999 (konferencia előadás)

F2. Egyéb publikációk

1. S. Szegedi, G. Kanalics, M. Váradi, Gy. Zilizi: *Determination of Ta impurities in Nb samples by X-rays in neutron activation analysis*. J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters 155 (5) 1991

2. Raics Péter, Zilizi Gyula: *PC-Lab kártyák alkalmazása a kutatásban és az oktatásban a KLTE Kísérleti Fizikai Tanszékén* (Könyvrészlet, Mihályi L., Katona P. szerk.: Alkalmazási példák, IBM PC alapú mérésadatgyűjtés, folyamattírányítás. Selectrade Computer, Budapest 1993

3. Janóczky József, Nagy Mihály, Zilizi Gyula: *Feladatok és megoldások a Hatvani István Fizikaversenyen* H.-B. Megyei Pedagógiai Intézet, 1994

4. T. Sztaricskai, Zs. Szabó, P. Raics, Gy. Zilizi, S. Kovács, L. Baksay, H. Reithler, G. Hilgers: *Development of a test pulse system for CMS muon drift chambers*. Proc. 2nd Workshop: Electronics for LHC experiments, 23-27 Sept 1996, Balatonfüred, Hungary, (KFKI-CERN), p. 272-274.

5. S. de Jong, B. Dienes, D. Horváth, Gy. Marián, J. Pálkás, Z. Szillási, Z. Trócsányi, Gy. Zilizi et al. *Rb: experimental results. Nuclear Physics "B" Proceedings Supplement 52 (1997)105.-X./*

6. G. L. Bayatian, ..., T. Bondár, L. Brunel, S. Juhász, G. Marian, S. Nagy, P. Raics, J. Szabó, Zs. Szabó, S. Szegedi, Z. Szillási, T. Sztaricskai, G. Zilizi, ...: *CMS. The Muon Project*. Technical Design Report. CERN/LHCC 97-32 (15. Dec. 1997) CMS TDR 3

7. G. L. Bayatian, L. Baksay, T. Bondár, L. Brunel, S. Juhász, G. Marian, S. Nagy, P. Raics, J. Szabó, Zs. Szabó, S. Szegedi, Z. Szillási, T. Sztaricskai, G. Zilizi, ...: *CMS. The Tracker Project*. Technical Design Report. CERN/LHCC 98-6 (15 Apr 1998) CMS TDR 5

F3. Az L3 kísérlethez kapcsolódó L3 szerzőlistás publikációim

1. M. Acciarri, et al., The L3 silicon microvertex detector.
Nucl.Instrum.Meth.A360:103-109,1995.
2. M. Acciarri, et al., 1994 running experience with the L3 silicon microvertex detector.
Nucl.Phys.Proc.Suppl.44:296-302,1995.
3. M. Acciarri, et al., Search for new physics phenomena in fermion pair production at LEP.
Phys.Lett.B433:163-175,1998.
4. M. Acciarri, et al., Measurement of the anomalous magnetic and electric dipole moments of the tau lepton.
Phys.Lett.B434:169-179,1998.
5. M. Acciarri, et al., Search for the standard model Higgs boson in $e^+ e^-$ interactions at $S^{**}(1/2) = 183\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B431:437-450,1998.
6. M. Acciarri, et al., Search for neutral Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in $e^+ e^-$ interactions at $s^{**}(1/2) = 130\text{-GeV} - 183\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B436:389-402,1998.
7. M. Acciarri, et al., Photon structure functions and azimuthal correlations of lepton pairs in tagged $\gamma\gamma$ collisions.
Phys.Lett.B438:363-378,1998.
8. M. Acciarri, et al., Study of anomalous $Z Z \gamma$ and $Z \gamma\gamma$ couplings at LEP.
Phys.Lett.B436:187-198,1998.

9. M. Acciarri, et al., Measurement of the inclusive charmless semileptonic branching fraction of beauty hadrons and a determination of $|V(ub)|$ at LEP. Phys.Lett.B436:174-186,1998.
10. M. Acciarri, et al., Study of the hadronic photon structure function F_2^{γ} at LEP. Phys.Lett.B436:403-416,1998.
11. M. Acciarri, et al., Production of single W bosons in e^+e^- interactions at $130\text{-GeV} \leq S^{1/2} \leq 183\text{-GeV}$ and limits on anomalous WW gamma couplings. Phys.Lett.B436:417-427,1998.
12. M. Acciarri, et al., Test of CP invariance in $Z \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma$ decay. Phys.Lett.B436:428-436,1998.
13. M. Acciarri, et al., Measurement of radiative Bhabha and quasireal Compton scattering. Phys.Lett.B439:183-196,1998.
14. M. Acciarri, et al., Measurement of W pair cross-sections in e^+e^- interactions at $S^{1/2} = 183\text{-GeV}$ and W decay branching fractions. Phys.Lett.B436:437-452,1998.
15. M. Acciarri, et al., Measurement of the Michel parameters and the average tau-neutrino helicity from tau decays at LEP. Phys.Lett.B438:405-416,1998.
16. M. Acciarri, et al., Upper limit on the lifetime difference of shortlived and longlived $B_0(s)$ mesons. Phys.Lett.B438:417-429,1998.
17. M. Acciarri, et al., Measurement of the effective weak mixing angle by jet charge asymmetry in hadronic decays of the Z boson. Phys.Lett.B439:225-236,1998.
18. M. Acciarri, et al., Searches for scalar top and scalar bottom quarks in e^+e^- interactions at 161-GeV less than equal to $S^{1/2}$ less than equal to 183-GeV . Phys.Lett.B445:428-438,1999.

19. M. Acciarri, et al., QCD results from studies of hadronic events produced in $e^+ e^-$ annihilations at $S^{**}(1/2) = 183\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B444:569-582,1998.
20. M. Acciarri, et al., Search for charged Higgs bosons in $e^+ e^-$ collisions at center-of-mass energies between 130-GeV and 183-GeV.
Phys.Lett.B446:368-377,1999.
21. M. Acciarri, et al., Single and multiphoton events with missing energy in $e^+ e^-$ collisions at $S^{**}(1/2) = 183\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B444:503-515,1998.
22. M. Acciarri, et al., Measurement of the $e^+ e^- \rightarrow Z \rightarrow b \text{ anti-}b$ forward – backward asymmetry and the B_0 anti- B_0 mixing parameter using prompt leptons.
Phys.Lett.B448:152-162,1999.
23. M. Acciarri, et al., The Q^{**2} evolution of the hadronic photon structure function $F(2)\gamma$ at LEP.
Phys.Lett.B447:147-156,1999.
24. M. Acciarri, et al., Inclusive charm production in two photon collisions at LEP.
Phys.Lett.B453:83-93,1999.
25. M. Acciarri, et al., $\chi(c2)$ formation in two photon collisions at LEP.
Phys.Lett.B453:73-82,1999.
26. M. Acciarri, et al., Study of neutral current four fermion and $Z Z$ production in $e^+ e^-$ collisions at $S^{**}(1/2) = 183\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B450:281-293,1999.
27. M. Acciarri, et al., Measurement of the cross- section for the process $\gamma^* \gamma^* \rightarrow \text{hadrons}$ at LEP.
Phys.Lett.B453:333-342,1999.

28. M. Acciarri, et al., Heavy quarkonium production in Z decays.
Phys.Lett.B453:94-106,1999.
29. M. Acciarri, et al., Measurement of mass and width of the W boson at LEP.
Phys.Lett.B454:386-398,1999.
30. M. Acciarri, et al., Search for scalar leptons in $e^+ e^-$ collisions at $S^{**}(1/2) = 183\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B456:283-296,1999.
31. M. Acciarri, et al., Search for R parity violating chargino and neutralino decays in $e^+ e^-$ collisions up to $S^{**}(1/2) = 183\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B459:354-366,1999.
32. M. Acciarri, et al., Measurement of an elongation of the pion source in Z decays.
Phys.Lett.B458:517-528,1999.
33. M. Acciarri, et al., Formation of the $\eta(c)$ in two photon collisions at LEP.
Phys.Lett.B461:155-166,1999.
34. M. Acciarri, et al., Search for heavy neutral and charged leptons in $e^+ e^-$ annihilation at $S^{**}(1/2) = 183\text{-GeV}$ and 189-GeV .
Phys.Lett.B462:354-364,1999.
35. M. Acciarri, et al., Search for Standard Model Higgs boson in $e^+ e^-$ interactions at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B461:376-386,1999.
36. M. Acciarri, et al., Search for heavy isosinglet neutrinos in $e^+ e^-$ annihilation at 130-GeV less than $S^{**}(1/2)$ less than 189-GeV .
Phys.Lett.B461:397-404,1999.
37. M. Acciarri, et al., Measurement of inclusive D^{*+-} production in two photon collisions at LEP.
Phys.Lett.B467:137-146,1999.

38. M. Acciarri, et al., Measurement of the spectroscopy of orbitally excited B mesons at LEP.
Phys.Lett.B465:323-334,1999.
39. M. Acciarri, et al., Search for low scale gravity effects in $e^+ e^-$ collisions at LEP.
Phys.Lett.B464:135-144,1999.
40. M. Acciarri, et al., Measurement of $R(b)$ and $Br(b \rightarrow \text{lepton neutrino } X)$ at LEP using double tag methods.
Eur.Phys.J.C13:47-61,2000.
41. M. Acciarri, et al., Search for charged Higgs bosons in $e^+ e^-$ Collisions at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B466:71-78,1999.
42. M. Acciarri, et al., Study of Z Boson Pair Production in $e^+ e^-$ collisions at LEP at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B465:363-375,1999.
43. M. Acciarri, et al., Search for scalar leptons in $e^+ e^-$ collisions at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B471:280-292,1999.
44. M. Acciarri, et al., Search for charginos and neutralinos in $e^+ e^-$ collisions at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B472:420-433,2000.
45. M. Acciarri, et al., Measurement of triple gauge boson couplings of the W boson at LEP.
Phys.Lett.B467:171-184,1999.
46. M. Acciarri, et al., Single and multiphoton events with missing energy in $e^+ e^-$ collisions at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B470:268-280,1999.

47. M. Acciarri, et al., Searches for scalar quarks in $e^+ e^-$ interactions at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B471:308-320,1999.
48. M. Acciarri, et al., Search for excited leptons at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.Phys.Lett.B473:177-185,2000.
49. M. Acciarri, et al., Search for neutral Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in $e^+ e^-$ interactions at $S^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B471:321-331,1999.
50. M. Acciarri, et al., Search for extra dimensions in boson and fermion pair production in $e^+ e^-$ interactions at LEP.
Phys.Lett.B470:281-288,1999.
51. M. Acciarri, et al., Measurement of the probability of gluon splitting into charmed quarks in hadronic Z decays.
Phys.Lett.B476:243-255,2000.
52. M. Acciarri, et al., Direct observation of longitudinally polarized W^{+-} bosons.
Phys.Lett.B474:194-204,2000.
53. M. Acciarri, et al., Measurement of hadron and lepton pair production at 130-GeV less than $S^{**}(1/2)$ less than 189-GeV at LEP.
Phys.Lett.B479:101-117,2000.
54. M. Acciarri, et al., Hard photon production and tests of QED at LEP.
Phys.Lett.B475:198-205,2000.
55. M. Acciarri, et al., Measurement of the running of the fine structure constant.
Phys.Lett.B476:40-48,2000.
56. M. Acciarri, et al., Measurement of the $e^+ e^- \rightarrow Z \gamma \gamma$ cross-section and determination of quartic gauge boson couplings at LEP.
Phys.Lett.B478:39-49,2000.

57. M. Acciarri, et al., Search for charginos with a small mass difference with the lightest supersymmetric particle at $S^{**}(1/2) = 189$ - GeV.
Phys.Lett.B482:31-42,2000.
58. M. Acciarri, et al., Measurements of cross- sections and forward backward asymmetries at the Z resonance and determination of electroweak parameters.
Eur.Phys.J.C16:1-40,2000.
59. M. Acciarri, et al., Inclusive σ^+ and σ^0 production in hadronic Z decays.
Phys.Lett.B479:79-88,2000.
60. M. Acciarri, et al., Measurement of the photon structure function at high Q^{**2} at LEP. hep-ex/0004005.
Phys.Lett.B483:373-386,2000.
61. M. Acciarri, et al., Measurement of the lifetime of the tau lepton.
Phys.Lett.B479:67-78,2000.
62. M. Acciarri, et al., Search for an invisibly decaying Higgs boson in $e^+ e^-$ collisions at $S^{**}(1/2) = 183$ -GeV - 189-GeV.
Phys.Lett.B485:85-94,2000.
63. M. Acciarri, et al., Measurements of the b anti-b production cross-section and forward backward asymmetry at center-of-mass energies above the Z pole at LEP.
Phys.Lett.B485:71-84,2000.
64. M. Acciarri, et al., Search for anomalous Z Z gamma and Z gamma-gamma couplings in the process $e^+ e^- \rightarrow Z \gamma$ at LEP.
Phys.Lett.B489:55-64,2000.
65. M. Acciarri, et al., Search for manifestations of new physics in fermion pair production at LEP.
Phys.Lett.B489:81-92,2000.

66. M. Acciarri, et al., QCD studies in $e^+ e^-$ annihilation from 30-GeV to 189-GeV.
Phys.Lett.B489:65-80,2000.
67. M. Acciarri, et al., Production of single W bosons at $S^{**}(1/2) = 189$ -GeV and measurement of W W gamma gauge couplings.
Phys.Lett.B487:229-240,2000.
68. M. Acciarri, et al., Determination of gamma / Z interference in $e^+ e^-$ annihilation at LEP.
Phys.Lett.B489:93-101,2000.
69. M. Acciarri, et al., Measurement of Bose- Einstein correlations in $e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$ at $S^{**}(1/2)$ approximately = 189-GeV.
Phys.Lett.B493:233-248,2000.
70. M. Acciarri, et al., Search for a Higgs boson decaying into two photons in $e^+ e^-$ interactions at $S^{**}(1/2) = 189$ -GeV.
Phys.Lett.B489:115-124,2000.
71. M. Acciarri, et al., Measurement of the $W^+ W^-$ gamma cross-section and direct limits on anomalous quartic gauge boson couplings at LEP.
Phys.Lett.B490:187-195,2000.
72. M. Acciarri, et al., Search for anomalous couplings in the Higgs sector at LEP.
Phys.Lett.B489:102-114,2000.
73. M. Acciarri, et al., Measurement of the W pair production cross-section and W decay branching fractions in $e^+ e^-$ interactions at $S^{**}(1/2) = 189$ -GeV.
Phys.Lett.B496:19-33,2000.
74. M. Acciarri, et al., Search for charged Higgs bosons in $e^+ e^-$ collisions at center of mass energies up to 202-GeV.
Phys.Lett.B496:34-42,2000.

75. M. Acciarri, et al., Study of Z boson pair production in $e^+ e^-$ interactions at $s^{**}(1/2) = 192\text{-GeV} - 202\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B497:23-38,2001.
76. M. Acciarri, et al., Light resonances in $K_0(S) K^+ \pi^-$ and $\eta \pi^+ \pi^-$ final states in $\gamma\text{-}\gamma$ collisions at LEP.
Phys.Lett.B501:1-11,2001.
77. M. Acciarri, et al., Search for R-parity violating decays of supersymmetric particles in $e^+ e^-$ collisions at $s^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$.
Eur.Phys.J.C19:397-414,2001.
78. M. Acciarri, et al., $K_0(S)K_0(S)$ final state in two photon collisions and implications for glueballs.
Phys.Lett.B501:173-182,2001.
79. M. Acciarri, et al., Higgs candidates in $e^+ e^-$ interactions at $s^{**}(1/2) = 206.6\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B495:18-25,2000.
80. M. Acciarri, et al., Search for excited leptons in $e^+ e^-$ interactions at $s^{**}(1/2) = 192\text{-GeV}$ to 202-GeV .
Phys.Lett.B502:37-50,2001.
81. M. Acciarri, et al., Measurements of the cross-sections for open charm and beauty production in $\gamma\text{-}\gamma$ collisions at $s^{**}(1/2) = 189\text{-GeV}$ to 202-GeV .
Phys.Lett.B503:10-20,2001.
82. M. Acciarri, et al., Search for neutral Higgs bosons of the minimal supersymmetric standard model in $e^+ e^-$ interactions at $s^{**}(1/2) = 192\text{-GeV} - 202\text{-GeV}$.
Phys.Lett.B503:21-33,2001.
83. M. Acciarri, et al., Measurement of the tau branching fractions into leptons.
Phys.Lett.B507:47-60,2001.

84. M. Acciarri, et al., Study of the $e^+ e^- \rightarrow Z \gamma\gamma \rightarrow q \bar{q}$
 $\gamma\gamma$ process at LEP.
Phys.Lett.B505:47-58,2001.

F4. A driftsebesség-ellenőrző rendszer hardvervezérlő programja

```
' Drift Velocity Monitor Control Program
' (C) 1998 V. V., Gy. Z.

' Compile using BC /E /O /W
' =====
IGOR DO: 16 15 14 13 | 12 11 10 9 | 8 7 6 5 | 4 3 2 1
'   BITS      1 1 1 tp | 0 0 o/f |   normal/calibr.

'   tp : 0 - pressure
'       1 - temperature

'   o/f: 11 - laser on
'       00 - laser off

'   normal/calibr.: 8 7 6 5 | 4 3 2 1
'                   0 0 1 0   1 1 0 0 = 2c - normal mode
'                   0 0 0 1   0 0 1 1 = 13 - calibr.mode

'   Pulse A - Test pulse
'   Pulse C - Starts ADC conversion

' =====
  DECLARE SUB TwoColor (Color1%, Color2%, ColorString$)
  DECLARE SUB BlankLine (BLine%, BColumn%, BColor%)
  DECLARE SUB GetKey (ScreenLine%, ScreenColumn%, Period!,
    Cursor%, Chara$)
  DECLARE SUB Hex24Bit (DataIn&)
  DECLARE SUB Binary24Bit (DataIn&)
  DECLARE SUB TDCRead ()
  DECLARE SUB DelayLoop (DelayTime!)
' =====

' Common GPIB status variables

' COMMON SHARED /NISTATBLK/ IBSTA%, IBErr%, IBCNT%
' COMMON SHARED /Inhibit/ Inhibit%, InhibitOn%, InhibitLine%,
'   InhibitColumn%
' COMMON SHARED Temperature%, Pressure%

' GPIB Subroutine Declarations

$INCLUDE: 'qbdecl.bas'
```

```

'=====
ON ERROR GOTO ErrorTrap

ResumeFlag% = 0      ' This is set as 1 after an Error and
Resume

CONST MaxShot% = 200 ' Number of max. laser shots per
measurements

GOSUB Dimensions    ' Dimension Statements

GOSUB GPIBData      ' GPIB Error Data

ResumePoint:        ' Resume Point after Run-Time Error

GOSUB SetVariables  ' Set Variable Values

GOSUB GetGPIBAddress ' Get GPIB Address

GOSUB SetupGPIB     ' Setup GPIB

GOSUB PrintMenu     ' Show Menu on Screen

GOSUB MainLoop      ' Main Command Loop

SYSTEM
'=====

CAMACListen:        ' Set LeCroy 8901A to Listen

CALL IBCMD(Board%, CAMACListen$): RETURN

'=====

CAMACTalk:          ' Set LeCroy 8901A to Talk

CALL IBCMD(Board%, CAMACTalk$): RETURN

'=====

ClearVariables:     ' Set CAMAC Variables to Zero

FunctionCode% = 0: SubAddress% = 0: Slot% = 0: WriteDatum& = 0

Q% = 0: X% = 0: LAM% = 0: RETURN

```

```

'=====
Dimensions:
DIM CHR%(26), Number&(6)
DIM F%(32), a%(32), N%(32), W&(32)
DIM GPIBData$(20), Inhibit$(2)
DIM TDC(MaxShot%, 7) AS INTEGER
RETURN
'=====
ErrorTrap:          ' Trap Error and Resume
CALL BlankLine(23, 1, Red%)
PRINT ErrorMessage$;
PRINT "Run-Time Error; press a key to continue.";
DO: LOOP UNTIL INKEY$ <> ""
COLOR Red%: ResumeFlag% = 1: CLOSE #2: RESUME ResumePoint:
'=====
GetChar:           ' Enter one Character from Keyboard
    DO: LOOP UNTIL INKEY$ = ""
    DO: Char$ = INKEY$: LOOP UNTIL Char$ <> ""
Char$ = UCASE$(Char$): CALL BlankLine(1, 1, 16): RETURN
'=====
GetGPIBAddress:    ' GPIB Address of the 8901A
    GPIBAddress% = 1
RETURN

```

```

'=====
 GPIBData:          ' GPIB Errors

 GPIBData$(0) = "DOS Error"
 GPIBData$(1) = "Function requires GPIB board to be CIC"
 GPIBData$(2) = "Write handshake error (eg no listener)"
 GPIBData$(3) = "GPIB board not addressed correctly"
 GPIBData$(4) = "Invalid argument to function call"
 GPIBData$(5) = "GPIB board not system controller as required"

 GPIBData$(6) = "I/O operation aborted (timeout)"
 GPIBData$(7) = "Non-existent GPIB board"
 GPIBData$(8) = "Windows 3 only. Virtual DMA device error"
 GPIBData$(9) = " "
 GPIBData$(10) = "Asynchronous I/O in progress"

 GPIBData$(11) = "No capability for operation"
 GPIBData$(12) = "File system error"
 GPIBData$(13) = " "
 GPIBData$(14) = "GPIB bus error"
 GPIBData$(15) = "Serial poll status byte queue overflow"

 GPIBData$(16) = "SRQ stuck in ON position"
 GPIBData$(17) = " "
 GPIBData$(18) = " "
 GPIBData$(19) = " "
 GPIBData$(20) = "Table problem"

 RETURN

'=====

MainLoop:          '
GOSUB SetRemote    ' GPIB Remote Enable

Inhibit% = InhibitOff%
GOSUB SendChar

Quit% = 0

DO                ' Start of Command Loop

IF IBSTA% < 0 THEN GOSUB ShowError

```

```

GOSUB PrintMenu

COLOR Yellow%

' Get one character from keyboard

CALL GetKey(1, 33, .3, 175, Character$): Char$ =
UCASE$(Character$)

COLOR White%

SELECT CASE Char$

CASE "T": GOSUB TimeSet

CASE "S": GOSUB StartMeas

CASE "I": GOSUB TestTDC

CASE "Q": Quit% = 1

CASE ELSE:           ' Exceptions

END SELECT

LOOP UNTIL Quit% = 1

GOSUB SetLocal           ' Set GPIB Remote Disable

CLS

RETURN

'=====

PrintMenu:           ' Show Main Menu

CLS

COLOR Red%
C1% = Blue%: C2% = White%
PRINT "          DRIFT VELOCITY MONITOR CONTROL PROGRAM"
PRINT : PRINT : PRINT
COLOR Yellow%
PRINT "Press a key to choose a command:";
PRINT : PRINT

```

```

CommandLine% = CSRLIN: CommandColumn% = POS(0)

PRINT
C1% = Blue%: C2% = White%

CALL TwoColor(C1%, C2%, "T  Set time between measurements ")
PRINT : PRINT
CALL TwoColor(C1%, C2%, "S  Start measurement           ")
PRINT : PRINT
CALL TwoColor(C1%, C2%, "I  Test TDC                               ")
PRINT : PRINT
CALL TwoColor(C1%, C2%, "Q  Quit program                               "):
PRINT

RETURN

```

```
'=====
```

```

TestTDC:

CLS : PRINT "                      TDC test"

Position% = 8           '8901A command = 64
GOSUB SendChar         'Disable SRQ's

Slot% = 20
FunctionCode% = 24     'Disable LAM in TDC
SubAddress% = 1
GOSUB SendFAND

Entry:
Slot% = 20
FunctionCode% = 9      'Clear module
GOSUB SendFAND

CALL DelayLoop(3)

FOR j% = 1 TO 12

FunctionCode% = 9      'Clear module
GOSUB SendFAND

CALL DelayLoop(.2)

FunctionCode% = 0      'Read register

```

```

SubAddress% = 0
GOSUB SendFAND

CALL DelayLoop(1)
FunctionCode% = 2      'Read registers and clear module on
A(7)

FOR i% = 0 TO 7
  SubAddress% = i%
  GOSUB SendFAND

PRINT ReadValue%; " ";
NEXT i%

PRINT
NEXT j%

PRINT
PRINT "Temp: "; Temperature%; " Press: "; Pressure%
STOP
RETURN

```

'=====

```

StartMeas:

Position = 8
GOSUB SendChar      'Disable SRQs

Mode% = 0           '0 : meas.

Slot% = 20
SubAddress% = 0
FunctionCode% = 24  'Disable LAM in TDC
WriteDatum& = 0

GOSUB SendFAND

FunctionCode% = 9   'Clear TDC

GOSUB SendFAND

CLS

COLOR Yellow%
LOCATE 1, 24

```

```

PRINT "Measurement is in progress"

IF Mode% > 0 THEN GOTO Calibr
' --- Normal mode ---

Slot% = 22
SubAddress% = 2
FunctionCode% = 16
WriteDatum& = 44          'DO8-DO1 : 0010 1100
GOSUB SendFAND           'Set normal mode

Slot% = 22
SubAddress% = 10
FunctionCode% = 16
WriteDatum& = 768        'DO12-DO9 : 0011
GOSUB SendFAND           'Laser on

GOTO ReadTempPress

Calibr:
Slot% = 22
SubAddress% = 2
FunctionCode% = 16
WriteDatum& = 19         'DO8-DO1 : 0001 0011
GOSUB SendFAND           'Set calibration mode

Slot% = 22
SubAddress% = 0
FunctionCode% = 25       'Pulse A
GOSUB SendFAND           'Test pulse

ReadTempPress:
Slot% = 22
SubAddress% = 2
FunctionCode% = 25       'Pulse C
GOSUB SendFAND           'Start ADC conversions

' --- Read Pressure ---
Slot% = 22
SubAddress% = 11
FunctionCode% = 16
WriteDatum& = 57344      'DO16-DO13 : 1110
GOSUB SendFAND           'Select pressure

CALL DelayLoop(.2)

```

```

Slot% = 22
SubAddress% = 0
FunctionCode% = 0
GOSUB SendFAND          'Read pressure
Pressure% = ReadValue%
' -----

' --- Read Temperature ---
Slot% = 22
SubAddress% = 11
FunctionCode% = 16
WriteDatum% = 61440     'DO16-DO13 : 1111
GOSUB SendFAND          'Select temperature

CALL DelayLoop(.1)

Slot% = 22
SubAddress% = 0
FunctionCode% = 0
GOSUB SendFAND          'Read temperature
Temperature% = ReadValue%
' -----

PRINT
LOCATE 4, 0

PRINT "Temp:"; Temperature%; "  Press: "; Pressure%

' --- Read data from TDC ---

Slot% = 20
FunctionCode% = 24      'Disable LAM in TDC
SubAddress% = 1
GOSUB SendFAND

Slot% = 20
FunctionCode% = 9       'Clear module
GOSUB SendFAND

CALL DelayLoop(3)

LOCATE 10, 0

```

```

FOR i% = 0 TO MaxShot%   'Number of laser shots to be measured

CALL DelayLoop(.2)

FunctionCode% = 0       'Read register (dummy)
SubAddress% = 0
GOSUB SendFAND

CALL DelayLoop(1)
FunctionCode% = 2       'Read registers and clear module on
A(7)

FOR j% = 0 TO 7
  SubAddress% = j%
  GOSUB SendFAND
  TDC(i%, j%) = ReadValue%
  PRINT ReadValue%; " ";
NEXT j%

PRINT
NEXT i%

STOP

'--- Stop the laser ---

Slot% = 22
SubAddress% = 10
FunctionCode% = 16
WriteDatum& = 0
GOSUB SendFAND          'Stop the laser

'--- Calculate and write data to file ---

FOR i% = 0 TO MaxShot%
  FOR j% = 0 TO 7

  NEXT j%
NEXT i%

RETURN
'=====

TimeSet:

```

```

CLS
LOCATE 10, 10
PRINT "Give time interval between measurements (minutes)"

INPUT Inteval%

IF Interval% > 240 THEN GOTO TimeSet

RETURN

'=====
SendChar:          ' Transmit One Byte to 8901A

ErrorMessage$ = "Byte Send"

' LOCATE CommandLine%, CommandColumn% + 1: PRINT Char$;
IBChar$ = CHR$(CHR%(Position%))      ' Find Byte in Data Array
GOSUB CAMACListen: CALL IBWRT(Board%, IBChar$): GOSUB CAMACTalk
CALL IBRD(Board%, DataBuffer$)      ' Dummy CAMAC Read

RETURN

'=====
SendFAND:          ' Transmit F A N W to crate

ErrorMessage$ = "Send F A N D"

LoByte& = WriteDatum& AND 255
MidByte& = (WriteDatum& \ 256) AND 255
HighByte& = (WriteDatum& \ 65536) AND 255

DatumString$ = CHR$(LoByte&) + CHR$(MidByte&) + CHR$(HighByte&)

FANString$ = CHR$(FunctionCode%) + CHR$(SubAddress%) +
CHR$(Slot%)

SendString$ = FANString$ + DatumString$

ReadSetup$ = Bit24$ ' For 3-Byte Read

```

```

GOSUB CAMACListen: CALL IBWRT(Board%, ReadSetup$): GOSUB
CAMACTalk

GOSUB CAMACListen: CALL IBWRT(Board%, SendString$): GOSUB
CAMACTalk

ErrorMessage$ = "CAMAC Read"

CALL IBRD(Board%, DataBuffer$)      ' CAMAC 24-Bit Read

LoByte& = ASC(MID$(DataBuffer$, 1, 1))
MidByte& = ASC(MID$(DataBuffer$, 2, 1))
HighByte& = ASC(MID$(DataBuffer$, 3, 1))

ReadDatum& = 65536 * HighByte& + 256 * MidByte& + LoByte&
ReadValue% = 256 * MidByte& + LoByte&

StatusByte% = ASC(MID$(DataBuffer$, 4, 1))

X% = StatusByte% AND 1
Q% = (StatusByte% AND 2) \ 2
LAM% = (StatusByte% AND 64) \ 64

RETURN

'=====
SetLocal:          ' Set GPIB Remote Off

IBLocal% = 0: CALL IBSRE(Board%, IBLocal%): RETURN

'=====

SetRemote:        ' Set GPIB Remote On

ErrorMessage$ = "Set Remote Error"

IBRemote% = 1: CALL IBSRE(Board%, IBRemote%): RETURN

'=====

SetupGPIB:        ' Set up and Start GPIB

MLA0% = 32          ' Zero GPIB Listen Address
MTA0% = 64          ' Zero GPIB Talk Address

```

```

PCListen$ = CHR$(MLA0%)          ' PC GPIB Addresses
PCTalk$ = CHR$(MTA0%)

UnListen$ = CHR$(63)            ' GPIB Unlisten and Untalk Bytes
UnTalk$ = CHR$(95)
UnBoth$ = UnTalk$ + UnListen$

CAMACListen$ = UnBoth$ + PCTalk$ + CHR$(MLA0% + GPIBAddress%)
CAMACTalk$ = UnBoth$ + PCListen$ + CHR$(MTA0% + GPIBAddress%)

Dev$ = "DEV" + CHR$(GPIBAddress% + 48) ' Device Identifier
Board$ = "GPIB0"                    ' Board Identifier

ErrorMessage$ = "Board Find"

CALL IBFIND(Board$, Board%): CALL IBSIC(Board%)

ErrorMessage$ = "Set Time-Out Error"

TimeOut% = 12: CALL IBTMO(Board%, TimeOut%) ' Set GPIB Time-Out
to 3 seconds

RETURN

'=====

SetVariables:          ' Set up variables

SCREEN 9: CLS

CHR%(1) = 65           ' See 8901 A manual
CHR%(2) = 66
CHR%(3) = 68
CHR%(4) = 67
CHR%(5) = 69
CHR%(6) = 70
CHR%(7) = 71
CHR%(8) = 64

CHR%(9) = 33
CHR%(10) = 34
CHR%(11) = 35
CHR%(12) = 72
CHR%(13) = 64

CReturn$ = CHR$(13)

```

```

IF ResumeFlag% = 0 THEN OldDirectory$ = ""

TestString1$ = "TSIQ"
TestString2$ = TestString1$ + "FANWVUYKGE"

NumberString$ = "0123456789"

DataBuffer$ = SPACE$(100)

LetterType% = 1      ' Character Types
NumberType% = 2

Green% = 10         ' List of Screen Colours
Blue% = 11
Red% = 12
Yellow% = 14
White% = 15

Bit8$ = CHR$(97)    ' Set 2-Byte Read
Bit16$ = CHR$(98)   ' Set 2-Byte Read
Bit24$ = CHR$(100)  ' Set 3-Byte Read

DataMax& = 65536
DataMax& = 256 * DataMax& - 1 ' Highest Acceptable W Datum
Value

DataMax$ = "17000000" ' Highest Acceptable W Datum
String

InhibitOff% = 0      ' CAMAC Inhibit Variables
InhibitOn% = 1
Inhibit% = InhibitOff%

Inhibit$(InhibitOff%) = "Inhibit is Off"
Inhibit$(InhibitOn%) = "Inhibit is ON "

RETURN

'=====

ShowError:          ' Show GPIB Error

LOCATE 22, 1: COLOR Red%

PRINT "GPIB Error"; IBERR%; "- ";

```

```

        IF ((IBERR% < 20) AND (IBERR% >= 0)) THEN PRINT
        GPIBData$(IBERR%)

PRINT ErrorMessage$;

COLOR Yellow%: PRINT " Press any key to continue";

CALL GetKey(CSRLIN, POS(0) + 1, .3, 254, Character$)

COLOR White%

IBSTA% = 0: IBERR% = 0

RETURN

'=====
SUB Binary24Bit (DataIn&) ' Show Binary Version of Number
Data24& = DataIn&

OutString$ = ""

    FOR BitCount% = 1 TO 24

        Bit% = Data24& AND 1

        IF Bit% = 1 THEN Char$ = "1" ELSE Char$ = "0"

        OutString$ = Char$ + OutString$

        IF BitCount% MOD 4 = 0 THEN OutString$ = " " + OutString$

        Data24& = Data24& \ 2

    NEXT BitCount%

PRINT OutString$;

END SUB

SUB BlankLine (BLine%, BColumn%, BColor%) ' Blank Part of Line

    IF BColumn% > 78 THEN BBColumn% = 78 ELSE BBColumn% =
    BColumn%

```

```

    IF BBColumn% < 1 THEN BBColumn% = 1

    IF BLine% < 1 THEN BLine% = 1 ELSE BLine% = BLine%

    IF BLine% > 24 THEN BLine% = 24

LOCATE BLine%, BBColumn%: PRINT SPACE$(79 - BBColumn%);

LOCATE BLine%, BBColumn%: IF BColor% < 16 THEN COLOR BColor%

END SUB

SUB DelayLoop (DelayTime) STATIC

    CONST SecondsInDay = 24& * 60& * 60&

    'TIMER function returns the number of seconds past midnight

    LoopFinish = TIMER + DelayTime

    'If the pause begins before midnight and lasts until after
    midnight:

    IF LoopFinish > SecondsInDay THEN

        LoopFinish = LoopFinish - SecondsInDay

        'Wait until the timer has gone past midnight and is reset
        to 0:

        DO WHILE TIMER > LoopFinish

            LOOP

        END IF

        'Pause while the timer is less than the end time:

        DO WHILE TIMER < LoopFinish

            LOOP

        END SUB

```

```

SUB GetKey (ScreenLine%, ScreenColumn%, Period!, Cursor%,
Chara$)

Block$ = CHR$(Cursor%)

OldTime# = TIMER
NewTime# = OldTime#

OldT# = OldTime#
NewT# = OldTime#

KeyTest$ = ""

    DO
        DO

            DO

                NewT# = TIMER

                LOOP UNTIL NewT# - OldT# > .01

                KeyTest$ = INKEY$

            NewTime# = TIMER

            LOOP UNTIL ((NewTime# - OldTime# > Period!) OR (KeyTest$
<> ""))

        OldTime# = NewTime#

        IF KeyTest$ = "" THEN

            DO

                DO

                    NewT# = TIMER

                    LOOP UNTIL NewT# - OldT# > .01

                    KeyTest$ = INKEY$

                    NewTime# = TIMER

                    LOOP UNTIL ((NewTime# - OldTime# > Period!) OR

```

```

        (KeyTest$ <> ""))
    END IF

    OldTime# = NewTime#

    LOOP UNTIL KeyTest$ <> ""
Chara$ = KeyTest$
END SUB

SUB Hex24Bit (DataIn&) ' Show Hexdecimal Version of Number
Data24& = DataIn&
OutString$ = ""

    FOR ByteCount% = 1 TO 6
        Byte% = Data24& AND 15

        IF Byte% < 10 THEN Char$ = CHR$(Byte% + 48)
        IF Byte% > 9 THEN Char$ = CHR$(Byte% + 55)

        OutString$ = Char$ + OutString$

        Data24& = Data24& \ 16

    NEXT ByteCount%

PRINT OutString$;

END SUB

SUB PrintTrim (Number%)
NumberString$ = LTRIM$(RTRIM$(STR$(Number%)))

    IF LEN(NumberString$) = 1 THEN NumberString$ = " " +
NumberString$

PRINT NumberString$;

```

```
END SUB
```

```
SUB TwoColor (Color1%, Color2%, ColorString$)
```

```
COLOR Color1%: PRINT LEFT$(ColorString$, 1);
```

```
COLOR Color2%: PRINT RIGHT$(ColorString$, LEN(ColorString$) -  
1);
```

```
END SUB
```

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. KÍSÉRLETI ÉS IRODALMI ELŐZMÉNYEK	3
2.1 Az L3 kísérlet	3
2.1.1 A Szilícium Mikrovertex Detektor (SMD)	5
2.1.2 A vertexkamra	8
2.1.3 Az elektromágneses kaloriméter	12
2.1.4 A szcintillációs számlálók	14
2.1.5 A hadron kaloriméter	15
2.1.6 A müondetektor	16
2.2 Driftkamrák	21
3. KÍSÉRLETI RÉSZ	24
3.1 A tesztkamra motivációja és helye a müonkamrák gázellátó rendszerében	24
3.2 A tesztkamra mechanikai felépítése és installációja az L3 gázszinten	28
3.3 A tesztkamra főbb funkcionális egységei és működésük ismertetése	32
3.4 A tesztkamra működésének és felépítésének részletes leírása	35
3.4.1 A driftidő-mérés	35
3.4.2 Hőmérséklet- és nyomásmérés	38
3.4.3 A vezérlődoboz és a kimeneti/bemeneti regiszter ...	39

4. EREDMÉNYEK	40
4.1 A DVM új vezérlőrendszere	40
4.2 A szoftver	42
4.3 Az új rendszer beüzemelése, tesztmérések	45
4.4 A gyűjtött adatok, tapasztalatok rövid összefoglalása ...	48
5. ÖSSZEFOGLALÓ	52
6. SUMMARY	54
7. IRODALOMJEGYZÉK	56
FÜGGELÉK	59
F1. Az L3 kísérlethez kapcsolódó publikációim	59
F2. Egyéb publikációk	60
F3. Az L3 kísérlethez kapcsolódó L3 szerzőlistás publikációim	61
F4. A driftsebesség-ellenőrző rendszer hardvervezérlő programja	71