



Kísérleti eszközök fejlesztése a nagyenergiájú fizika számára

Töltött Higgs-bozon keresése a CERN-i L3 detektornál és precíziós
helyzetmeghatározó-rendszer építése a
CERN-i CMS detektor Müion rendszeréhez

doktori (PhD) értekezés tézisei

Development of experimental methods for the high-energy physics

Search for charged Higgs-bosons at the L3 experiment and
development of a precision alignment system for the CMS
detector at CERN

abstract of PhD dissertation

Szillási Zoltán

Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskola
Debrecen, 2007.

1. BEVEZETÉS

Honnan jöttünk? Miből és miért vagyunk? Ezek a kérdések vezették az ókori bölcseket és a mai fizikusokat akkor, amikor az anyag szerkezetéről elmélkednek. A fizikusok egyre bonyolultabb elméleti konstrukciókat fejlesztenek ki azért, hogy megmagyarázzák a világ építőköveinek, a részecskének a tulajdonságait és a közöttük ható kölcsönhatásokat. Az elméletek olyan jóslatokat is tartalmaznak, melyek közvetlenül, kísérletileg megvizsgálhatók. Ezzel maga a modell is megmérettetik: ha teljesülnek a jóslatai, életképesnek bizonyul. Ha nem igazolják a kísérletek a jóslatokat, akkor másik modellt kell építeni. A jelenleg legsikeresebb modell a részecskék Standard Modellje. Ez az elmélet nagyon sok mindent elmond a világunkat felépítő részecskékről, de a tömegüket csak akkor tudja megmagyarázni, ha feltételez egy új, eddig még nem látott részecskét, a Higgs-bozont. A legegyszerűbb esetben csak egy Higgs-bozont jósol a modell, de vannak olyan változatai, ahol több Higgs is megjelenik, melyek között a semlegesek mellett töltöttek is felbukkannak. A modell változatai közül csak a kísérlet tudja kiválasztani azt, amelyik a legjobban írja le a világot. A Genf (Svájc) melletti CERN nemzetközi tudományos központban az ottani LEP gyorsítóra épített L3 kísérletnél végzett, a töltött Higgs-bozon keresésével kapcsolatos munkám alkotja a doktori értekezésem első részét.

A fizikusok jelenleg egy új, minden eddiginél nagyobb energiájú gyorsítót építenek a CERN-ben, a Large Hadron Collider-t. Feladata lesz olyan nagy energiás részecske-ütközések létrehozása, melyben talán megtaláljuk az eddig rejtőzködő Higgs-bozont, vagy családjának tagjait, illetve ellenőrizhetjük a Standard Modellen túlmutató elméletek érvényességét. Az LHC egyik nagy detektora a CMS (Compact Muon Solenoid) lesz. A CMS kísérletben a müondetektorok szerepe meghatározó a trigger-rendszer működésében. Ennek oka az, hogy a nagyenergiás proton-proton ütközésekben keletkező nagyszámú részecske minden belső aldetektorban olyan nagy mennyiségű adatot hoz létre, mely a 40 MHz-es ütközési gyakoriság mellett valós időben gyakorlatilag feldolgozhatatlan. Ezzel szemben a müon rendszerbe már csak kezelhető mennyiségű részecske jut el. Ahhoz, hogy a müonrendszer mind az analízishez, mind a triggerhez megbízható adatokat tudjon biztosítani, továbbá, hogy a müondetektor-rendszer a detektált müonok momentumát kellő pontossággal meg tudja mérni, elengedhetetlen a detektorelemek helyzetének megfelelő pontosságú ismerete. A Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékén és az ATOMKI-ban működő csoportunk feladata olyan helyzetmeghatározó rendszer tervezése, kivitelezése és kalibrációja, mely elegendően pontos adatokat szolgáltat a CMS barrel régiójába telepített 250 darab müonkamra mindegyikének pozíciójáról. Ennek a rendszernek a CMS élettartama alatt folyamatosan kell működnie, elviselve a CMS szolenoidja által létrehozott 4 T erősségű mágneses teret, valamint a részecskék ütközéséből, illetve a detektor egyes elemeinek felaktiválódásából származó háttérsugárzást is. A helyzetmeghatározó rendszerrel kapcsolatos kutatások és fejlesztések képezik doktori értekezésem második részét.

2. CÉLKITŰZÉS

1997 és 2000 között részt vettem az L3 kísérlet Higgs-munkacsoportjának munkájában, amelyen belül feladatomban volt a 130 és 189 GeV tömegközépponti energia-tartományon gyűjtött adatok analízise és töltött Higgs-bozon léteire utaló bizonyítékok keresése annak hadronikus bomlási csatornáján.

A Higgs-modellek nem tesznek arra utalást, hogy mekkora nyugalmi tömegnek megfelelő energián keressük a Higgs-részecskéket, részecskéket. Ezért az egyetlen célravezető eljárás az, ha a gyorsító által elérhető energiatartományban egyre növekvő nyalábenergiák mindegyikénél megvizsgáljuk, hogy megjelenik-e a Higgs-bozon.

A modellek legegyszerűbbje egy darab semleges Higgs-bozont tartalmaz. Nem zárhatjuk ki azonban, hogy a természet működése nem ilyen egyszerűen írható le. Fontos tehát a többi modell vizsgálata is. Ennek megfelelően a következő legegyszerűbb modell az ún. két dublett Higgs-modell, melyben már öt Higgs-részecske jelenik meg. Ezek közül három semleges, kettő pedig töltött. Az elektron-pozitron gyorsítóknál a modell szerint töltött Higgs-bozonok párokban keletkeznek, majd elbomlanak. A LEP által elérhető energiatartományban a töltött Higgs-bozonok domináns bomlási módjai: $H^\pm \rightarrow c\bar{s}$ és $H^\pm \rightarrow \tau\nu_\tau$. A bomlási elágazási arány függ az alkalmazott modelltől. Én és kollégáim olyan analízist építettünk fel, ahol az analízis eredményeképpen kapott Higgs-kizárási érték független a bomlási elágazási aránytól. Ennek érdekében a töltött Higgs-keresést annak három különböző szignatúrájú bomlási csatornájában kerestük:

- $H^+H^- \rightarrow c\bar{s}c\bar{s}$
- $H^+H^- \rightarrow c\bar{s}\tau^-\bar{\nu}_\tau, c\bar{s}\tau^+\nu_\tau$
- $H^+H^- \rightarrow \tau^+\nu_\tau\tau^-\bar{\nu}_\tau$

Dolgozatomban az általam felépített tisztán hadronikus bomlási csatorna analízisével foglalkozom. Az ilyen folyamatokat a négy végállapotban megfigyelhető hadronzáró miatt viszonylag nagy részecskemultiplicitás, valamint viszonylag sok, a hadronkaloriméterben keletkező klaszter jellemzi. Ezenkívül ezeknek az eseményeknek csaknem a teljes energiája megfigyelhető a detektorban, valamint mind a transzverzális- mind a longitudinális impulzusok egyensúlyban vannak. Sajnos azonban nem csak a töltött Higgs-események rendelkeznek a fentebb vázolt szignatúrával, de a W- és Z-párképződéssel járó folyamatok is. Ezenkívül előfordulnak olyan $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}(\gamma)$ események is, ahol az egyik (vagy mindkét) végállapotú kvark kisugároz egy gluont. Ennek következtében előfordulhat, hogy a hadronzárókereső algoritmusok négyzáró eseményként azonosítják a folyamatot. Az analízis elkészítése során feladatomban volt olyan részecske-kiválasztás megalkotása, ahol a fent említett háttéresemények elnyomása lehetőleg maximális, míg a töltött Higgs-jelből a lehető legkevesebbet zárja ki.

A CMS muon-detektor helyzetmeghatározó rendszere egy komplex, optogeometriai kapcsolatok hálózatán alapuló koncepciót megvalósító berendezés optomechanikai, optoelektronikai, elektronikai, adatátviteli, számítástechnikai és adatkezelési vonatkozásokkal, amelyeknek minden részlete számos kutatási és fejlesztési feladat

megoldását követeli meg. Dolgozatomban ennek a már több mint tíz éve tartó kutatási-fejlesztési munkának azon részeit dolgoztam fel, melyek megvalósulásában munkámmal meghatározó módon vettem részt.

Mivel a helyzetmeghatározó rendszer számos (több ezer) elemet tartalmaz, amelyek pontossági paraméterei a gyártás során nem biztosíthatók, a rendszer pontosságának és így használhatóságának kulcskérdése az elemek paramétereinek nagypontosságú mérése, azaz kalibrációja. A kalibráció során hordozó mechanikára szerelt LED fényforrások helyét kell megmérni a mechanikai elemen található referencia-pontokhoz képest. Feladatom volt a kalibráció elvének, módszerének, eszköztárának, berendezéseinek kialakítása, a mérés pontosságát befolyásoló tényezők kutatása és kiszűrése illetve csökkentése, valamint a kapcsolódó adatgyűjtés, adatfeldolgozás, adattárolás és megjelenítés megoldása. Feladatom volt továbbá a kidolgozott elvek és módszerek alkalmazása az optomechanikai referenciaobjektumok (villák), valamint a műonkamrák kalibrációjának elvégzése és az eredmények statisztikai analízise.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Eljárást dolgoztam ki töltött Higgs-bozon kereséséhez a hadronikus bomlási csatornában a LEP gyorsító L3 detektorával gyűjtött mérési adatokra.

A kifejlesztett eljárás klasszikus vágás-orientált, valamint a töltött Higgs-bozon tömegétől független analízis. Az alkalmazott vágások természetesen kissé függenek a tömegközépponti energiától. Az alábbi táblázat az egyes tömegközépponti energiákon elért szelekciós hatásfokokat mutatja a különböző tömegű szimulált töltött Higgs-jeleken. A táblázat utolsó oszlopában a háttéreseményekből várható összes esemény száma látható.

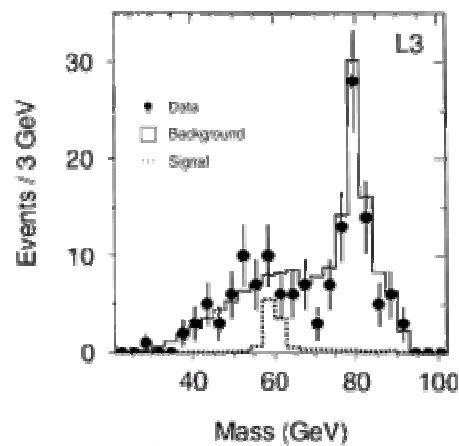
Tömeg- középponti energia (GeV)	Szelekciós hatásfok (%) $m_H^{\pm} =$								Várt háttér- események száma
	45	50	55	60	65	70	75	80	
130-136	36	41	44	46	—	—	—	—	19,0
161	37	45	51	44	45	46	—	—	15,2
172	35	45	45	43	41	39	—	—	25,9
183	29	36	39	40	38	34	—	—	99,4
189	—	—	—	39	38	38	34	30	359,4

1.táblázat. A töltött Higgs-bozon hadronikus bomlási csatornájának analízise által elért szelekciós hatásfokok, illetve az összes várt háttéreseemény száma a tömegközépponti energia függvényében

2.a Az 1. tézispont szerinti módszerrel általam végzett analízis alapján kizárható volt a töltött Higgs-bozon létezése 57,5 GeV/c² alatti tömegtartományban.

Ezek a mérések a LEP gyorsító $\sqrt{s} = 130 - 183$ GeV tömegközépponti energia tartományában négy energián (130, 161, 172, 181 GeV) történtek az L3 detektoron.

Az 1. ábrán az összes várt háttér esemény, valamint a valós adatok invariáns tömeg-eloszlása látható. Az ábrán feltüntettem még egy 60 GeV nyugalmi tömegű szimulált töltött Higgs-jelet is. Az ábrán jól látható, hogy az adatok inkább a háttéreseeményekkel kompatibilisek. Jól látható továbbá, hogy a mért események száma néhány invariáns tömegértéknél nem egyeznek a várt háttér esemény-számokkal. Ennek következményeképpen a három bomlási csatorna eredményeinek kombinációjakor az elágazási aránytól függetlenül kizárható maximális töltött Higgs-bozontömeg 57,5 GeV-nek adódott.



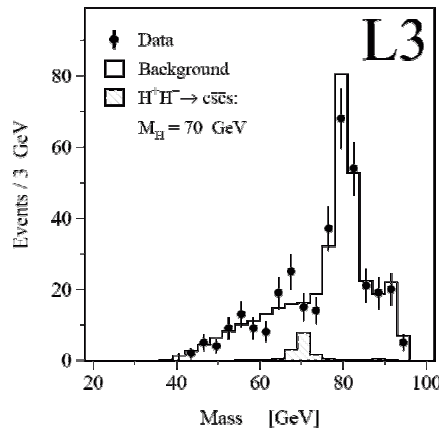
1. ábra. A várt háttéreseemények számának, valamint a mért adatnak az invariáns tömeg szerinti eloszlása 130 - 183 GeV tömegközépponti energia tartományon. Az ábrán feltüntettem még egy 60 GeV nyugalmi tömegű töltött Higgs-bozonnak megfelelő jel szimulációjából származó eredményt is.

2.b A kísérleti feltételek javulásával az 1. tézispont szerinti módszerrel általam végzett további analízis alapján kizárhatónak vált a töltött Higgs-bozon létezése 65,5 GeV/c² alatti tömegtartományban.

Ez az eredmény $\sqrt{s} = 189$ GeV tömegközépponti energián az L3 detektorral gyűjtött adatokon alapult.

Az alábbi ábrán a várt háttéreseemények, valamint a valós adatok invariánstömeg-eloszlása látható. Az ábrán feltüntettem még egy 70 GeV nyugalmi tömegű szimulált Higgs-jelet is. A 2. ábrán jól látható, hogy a mért adatok inkább a szimulált háttéreseeményekkel

kompatibilisek. Ez a kompatibilitás kb. 65 GeV-nél sérül. Ennek következményeként a három bomlási csatorna minden addig elért tömegközépponti energián mért összes adatait kombinálva az elágazási aránytól függetlenül kizárható maximális töltött Higgs-bozontömeg 65,5 GeV-nek adódott.



2. ábra. A várt háttéreseemények számának, valamint a mért adatnak az invariáns tömeg szerinti eloszlása 189 GeV tömegközépponti energián. Az ábrán feltüntettem még egy 70 GeV nyugalmi tömegű töltött Higgs-bozonnak megfelelő jel szimulációjából származó eredményt is.

3. Módszert dolgoztam ki a CMS müon detektor helyzetmeghatározó-rendszer elemeinek kalibrációjához, amely a rendszerben felhasznált fényforrások és video-szenzorok alkalmazásán alapul. A módszer szerint a mérendő fényforrások helyzetét ismert helyzetű etalon fényforrások helyzetéhez képest állapítjuk meg az eszköz későbbi használatához hasonló optogeometriai környezetben.

Ehhez első lépésben megtaláltam a megfelelő, inkoherens kivilágítású száloptikát alkalmazó etalon fényforrást. Ezután ismert (speciális metrológiai laboratóriumban bemért) távolságban lévő fényforrások relatív helyzetét a kalibrációhoz kidolgozott módszerrel 10 mikrométer alatti pontossággal sikerült rekonstruálni. Ilyen módon kísérletileg igazoltam, hogy az általam kidolgozott módszer alkalmas a kalibráció megfelelő pontosságú kivitelezésére. Az alkalmazott módszer nem igényli a kalibrációs berendezés előzetes kalibrációját és nem támaszt túlzott stabilitási követelményeket a berendezéssel szemben, mivel az összes kalibrálandó fényforrást azonos geometriai elrendezésben, azonos videokamera méri. Mivel a beépítésre kerülő villák mindkét oldalán található LED-ek, helyzetük mérése egyetlen kamerával lehetetlen. Alkalmasan megválasztott kalibrációs eszközzel és célszerűen elhelyezett etalon fényforrásokkal sikerült kiküszöbölni azt a szisztematikus hibát, amely két független kamera esetén fellép.

4. Kísérleti módszerekkel és szimulációs modellezés segítségével kidolgoztam a fényforrások képének kiértékeléséhez szükséges súlypont (másnéven centroid) számítás optimális algoritmusát, amely kellően érzéketlen a háttér-zajokra illetve intenzitás-fluktuációkra, független a fényforrás képének a szenzoron elfoglalt helyétől és alkalmas automatikus képkiértékelésre.

A módszer fejlesztésénél kulcsfeladat volt a folt jó körülhatárolásának kidolgozása. Ezt úgy oldottam meg, hogy a legerősebb intenzitásúnak mért pixel körül meghatározott módon körbejárva minden egyes pixelről a szomszédai segítségével eldöntöttem, hogy a folthoz tartozik-e. A folt minden egyes pixeleinek megtalálása után a folt a képből kivágható és a képen új folt kereshető. Ennek az iteratív eljárásnak az eredményeképpen a képen levő összes fényfolt megtalálható. A módszer alkalmas arra is, hogy a fényforrás képét a zavaró tükröződésektől elkülönítse. Ennek komoly gyakorlati jelentősége van a műonkamrák kalibrációjánál, ahol a fényforrás egy alumínium-profil belsejében helyezkedik el. Az igazi fényfoltnak a tükröképétől való elkülönítésére általános módszert dolgoztam ki. Mindemellett használható az a megközelítés is, mely az alumínium profil és a LED-ek kölcsönös helyzetén és az ebből várható tükröződés becslésén alapszik. Ezen kívül vizsgálat tárgyát képezte még a videoszenzor pixeleinek eltérő erősítéséből eredő hiba tanulmányozása. Ehhez diákom segítségével szimulációs eljárást dolgoztam ki, melynek során szimulálható egy fényfolt kialakulása, miközben állítható az egyes pixelek érzékenysége.

5. Kísérletileg vizsgáltam a kalibrációhoz használt video-szenzorok statisztikus fluktuációjából eredő mérési hiba nagyságrendjét és kidolgoztam annak statisztikus módszerekkel történő csökkentését.

Megmutattam, hogy az 4. tézispontban ismertetett centroid számítási algoritmus esetén 20 kép kiátlagolásával a 12 mikrométeres elemi cellájú video-szenzorral elérhető felbontás a cellaméret 2%-a.

6. Megvizsgáltam a kalibráció során alkalmazott fényforrás-intenzitás hatását a kalibráció pontosságára és meghatároztam az optimális paramétereket.

Kimutattam, hogy az 4. tézispontban ismertetett centroid számítási algoritmus esetén a centroid értéke a megvilágító fényforrás intenzitásának széles tartományában független az intenzitástól, így ebből a szempontból is biztonsággal használható mérési célokra. A vizsgálat szükségességét indokolta az a tény, hogy a helyzetmeghatározó rendszerben a kamerától különböző távolságokban helyezkednek el az egyes LED-ek. Jelen vizsgálattal igazoltam, hogy a fényfolt centroidjának helyzetmeghatározási pontossága csak nagyon erős megvilágítás esetén romlik el. Ezen kívül a vizsgálat során sikerült meghatározni az egyes távolságokhoz tartozó ideális LED-áram értékeket is.

7. A 4-6 tézispontokban felsorolt eredmények figyelembevételével megterveztem és megépítettem CMS kísérletben felhasználandó 1200 fényforrás-egység (villa) kalibrációjára alkalmas berendezést.

A kalibráció mérési elve az ún. felkereső algoritmuson alapul. Ennek során egy kétdimenzióban elmozdulni képes, 1 mikronos visszaállási pontossággal rendelkező számítógép-vezérelt mozgatóasztalra telepített kalibrációs eszközbe helyezzük a mérendő villát. Ezek után akár a kalibrációs eszköz, akár a villa egyik fényforrását kigyújtva addig mozgatjuk az asztalt, amíg a fényfolt centroidja egy előre beállított pozícióba nem kerül az őt látó videoszenzoron. Ezt az iteratív procedúrát ismételjük minden fényforrásra. A fényforrások mérésének végeztével aztán a mérést néhányszor megismételjük a megfelelő mérési statisztika elérése érdekében. A módszer előnye, hogy a mérésben felhasznált kamerákat előzetesen nem kell kalibrálni, mivel a fényfolt a szenzornak mindig ugyanarra a területére esik. Ezzel kiküszöbölődnek a lencsehibákból és a videoszenzor egyenetlen pixel-erősítési eloszlásából származó centroidszámítás eredményét eltorzító hatások.

A berendezés a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékén épült meg. Az eszköz építéséhez tartozott az adatgyűjtő rendszer létrehozása, a vezérlő és adatgyűjtő szoftver megalkotása, a biztonságos adattárolás és a CMS kollaboráció számára való adathozzáférés feladatának megoldása. Mivel a mérési folyamat (a mérendő villa készülékbe helyezésétől eltekintve) automatikus, fontos gyakorlati szempont volt a mérés minőségének biztosítása, azaz olyan mérési lépéssorozat kidolgozása, amely kiszűri az esetleges hibás rész-adatokat. A villák kalibrációjának sikeres elvégzésével és a mérések statisztikai analízisével igazoltam a berendezés használhatóságát és az elvégzett mérések megbízhatóságát.

8. Ugyancsak a 4-6 tézispontok eredményeit felhasználva megépítettem a CMS kísérletbe beépítendő 250 barrel müon kamra kalibrációjára alkalmas berendezést a CERN kutatóintézetben.

A berendezés működési elve eltér a 7. tézispontoz tartozó berendezés működési elvétől, ugyanis itt a müonkamra méreteiből adódóan nem lehetett alkalmazni a felkereső algoritmust. Így a kamrakalibráció során a kamra ún. alignment passage-ai elé fixen telepített kamerák figyelték a villák LED-jeit. Az egyes kamerák előzetes kalibrációja a mérőpad hitelesítésekor történt. A mérőrendszer különlegessége abban áll, hogy a kamrakalibráció során a kameráink által nem érzékelhető kamra sarokelemek által kijelölt koordinátarendszerben kell a villákat elhelyezni. Ezért a mérés során csoportunk szorosan együttműködött a CERN TS-SU csoportjával. Ennek a berendezésnek része volt –a villa kalibrációs berendezéshez hasonlóan– az adatgyűjtő rendszer létrehozása, az adatgyűjtő szoftver megalkotása, a biztonságos adattárolás és a CMS kollaboráció számára való adathozzáférés feladatának megoldása. A berendezés sikeresen működött a kamrák kalibrációja során.

4. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

A dolgozatomban tárgyát képező Higgs-analízis a 2. tézispontban említett adat-háttér kompatibilitási hibák miatt megszabja az L3 kísérlet által a töltött Higgs-bozon alsó tömeghatárára adott eredményt. Kézenfekvő volt tehát, hogy távozásom után egy átdolgozott analízissel ellenőrizték eredményeimet, kiegészítve azt a 192 – 202 GeV tömegközépponti energia-tartományon végzett mérések eredményeivel. Ennek következtében a kizárási határ 67,4 GeV-re emelkedett. Az L3 kísérlet által később a 189 – 209 GeV tömegközépponti energiákon mért adatok analízise a töltött Higgs-bozon legkisebb megengedett tömegét 76,5 GeV-ben állapította meg.

A CMS kísérlet müonkamra helyzetmegahatározó-rendszerében felhasznált villák fényforrásainak precíziós mérésére kidolgozott módszerem segítségével sikerült olyan mérőeszközt létrehoznom, amely bármilyen hasonló kis objektum fényforrásainak helyzetét képes meghatározni. Ezzel ennek az eszköznek az ipari hasznosítása is lehetséges. Ugyanez a megállapítás vonatkozik a müonkamra kalibrációs eszközre is, azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben nagyobb objektumok felderítése is lehetővé válik.

5. TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

5a. Az értekezéshez kapcsolódó közlemények

1. Acciarri M., Baksay G., Raics P., **Szillási Z.**, Sztaricskai T., Zilizi Gy., + 411 coauthors (L3 Collaboration) ³ : *Search for charged Higgs boson in $e+e-$ collisions at $\sqrt{s} = 189$ GeV.*
^{SCI} Physics Letters B **466** (1999)71-78.
2. Acciarri M., Baksay G., **Szillási Z.**, Zilizi Gy., + 422 coauthors (L3 Collaboration) ³ : *Search for charged Higgs bosons in $e+e-$ collisions at centre-of-mass energies between 130 and 183 GeV.*
^{SCI} Physics Letters B **446** (1999)368-377.

5b. Az értekezéshez nem kapcsolódó közlemények

1. Simon A., Pintye Z., **Szillási Z.**, Raics P., Béni N., Molnár J.: *A new method for alpha-particle detection in a classroom experiment.*
Atomki Annual Report 2005
2. **Szillasi Z.** Higgs bozonok keresese, Természet Világa 2000. III. Különszám

+ 350db egyéb közlemény

5c. Az értekezéshez kapcsolódó előadások, posztterek

1. **Szillasi Z.** *Higgs Search at L3*
European Committee for Future Accelerators, Budapest 1999 szeptember 3.
2. **Szillási Z.**, Bencze Gy. L., Béni N., Imrek J., Molnár J., Novák D., Raics P., Szabó Zs., Székely G.: *Data acquisition and management in the calibration processes of the CMS barrel muon alignment system.*
12th Workshop on Electronics for LHC and Future Experiments. Valencia, Spain, 25-29 Sept., 2006
3. Novák D., Fenyvesi A., Molnár J., Székely G., Végh J., Béni N., Kapusi A., Raics P., Szabó Zs., **Szillási Z.**, Bencze Gy. L.: *Integration study and first test results of the CMS Muon Barrel Alignment system.*
10th Workshop on Electronics for LHC and Future Experiments. Boston, USA, 13-17 Sept., 2004

5d. Az értekezéshez nem kapcsolódó előadások, poszterek

1. **Szillasi Z.** *Direct and indirect Standard Model Higgs search at LEP*
International Europhysics Conference on High Energy Physics, Tampere 1999
2. Bencze Gy. L., Imrek J., Molnár J., Novák D., Raics P., Szabó Zs., Székely G.,
Szillási Z.: *PIConNET based distributed system dedicated to magnet test of the CMS muon barrel alignment.*
11th Workshop on Electronics for LHC and Future Experiments. Heidelberg, Germany, 12-16 Sept., 2005
3. Székely G., Bencze Gy., Courtens K., Molnár J., Novák D., Raics P., Szabó Zs.,
Szillási Z., Végh J.: *Muon Barrel Alignment system based on a net of PC/104 board computers.*
9th Workshop on Electronics for LHC Experiments. CERN - NIKHEF, Amsterdam, The Netherlands, 29 Sept. - 3 Oct., 2003
4. Bencze Gy. L., Fenyvesi A., Kerek A., Norlin L. -O., Molnár J., Novák D., Raics P., Szabó Zs., **Szillási Z.:** *Radiation tolerance tests of CMOS active pixel sensors used for the CMS muon barrel alignment.*
8th Workshop on Electronics for LHC Experiments. Colmar, France, 9-13 Sept., 2002
5. Baksay G., Baksay L., Behrens M., Nagy S., Raics P., **Szillási Z.,** Szabó József., Sztaricskai T., Zilizi Gy.: *Az SMD lézerrendszer adatainak kiértékelése a CERN-i L3 kísérletben. (in Hung.)*
MicroCAD'98. Biofizika és számítógépes fizika. Miskolc, 1998. febr. 24-26.
6. **Szillási Z.:** *New laser displacement monitoring system for the L3 experimental at CERN.*
International Conference of Physics Students. Szeged, Hungary, 18-24 Aug., 1996

+ 187db egyéb konferencia

