

Zárójelentés OTKA T037350

Bevezetés

Munkánk a nagyenergiájú részecskefizika területén ahhoz a széleskörű nemzetközi együttműködéssel megvalósuló alapvető kutatási programhoz kapcsolódik, amely célja az elemi részecskék közötti alapvető kölcsönhatások kísérleti vizsgálata: így többek között annak megértése, honnan származik az elemi részecskék nyugalmi tömege és vajon létezik-e a Standard Modell gondolati konstrukcióját kiterjesztő, számos új jelenséget megjósoló szuperszimmetria, amely – többek közt - közelebb vezet az Univerzum ősrobbanást követő fejlődésének mélyebb megértéséhez is.

A téma kutatása során 3 nemzetközi együttműködésben vettünk részt: az **ATLAS** kísérletben [1-18]¹, amelynek a 2002-2006 években egyik fontos célja egy olyan új kísérleti berendezés létrehozása, amellyel 2007 után lehetővé válik a fenti kérdéskör vizsgálata az Európai Részecskefizikai Központ (CERN) új gyorsítója, az LHC szolgáltatotta 14 TeV energiájú proton-proton ütközések észlelése révén; a **GEANT4** együttműködésben [19-33], amelynek fő érdeme, hogy lehetővé teszi az LHC-nél üzembe helyezendő komplex detektorrendszerek korrekt számítógépes szimulációját; valamint az **L3** együttműködésben [34-93], amelynek segítségével a LEP gyorsítónál már felvett adatok összefoglaló analízise révén juthattunk újabb információkhoz.

Az alábbiakban a fent említett 3 különböző kollaboráció keretében elért eredményeket külön-külön tekintem át².

Az ATLAS kísérlet

Több mint 10 éve folyik a Genf székhelyű, összeurópai finanszírozású Európai Részecskefizikai Központban (CERN) egy új gyorsítónak, az LHC-nek az építése, amely előreláthatólag 2008-ban, a világon elsőként, 14 TeV energiájú proton-proton ütközéseket szolgáltat. Az építéssel párhuzamosan mintegy 150 laboratórium és 1600 fizikus részvételével megszerveződött az ATLAS kollaboráció, hogy olyan, mintegy 475 millió SFR értékű, sokoldalú kísérleti berendezést hozzon létre, amellyel kihasználhatja az új gyorsító nyújtotta tudományos lehetőségeket. A Marseille-i Részecskefizikai Központ (CPPM) is tagja ennek az együttműködésnek. A Prof. Tisserant vezette CPPM-Atlas csoport tervezte és állította össze az Atlas folyékony argonnal töltött elektromágneses

¹ A hivatkozási számok a jelen zárójelentéshez csatolt Közleménylistán feltüntetett publikációkra vonatkoznak.

² A kutatásban foglalkoztatottak számát 2.5FTE-nek becsültük. Ennek indoklása: *Tóth József* és *Urbán László* 100%-ban az Atlas ill. a Geant4 projekten dolgozott (2 FTE). *Boldizsár László* inkább a CMS és a nehézion fizikai kísérletek felé orientálódott, míg *Manno István* nemzetközileg is elismert tevékenységet folytatott a Borexino kísérletben, ezért lényegesen kevesebb idejük maradt a jelen OTKA projekthez való hozzájárulásra (0.1 FTE). *Debreczeni Gergely* kutatási idejének szignifikáns részét fordította az L3 adatok kísérleti analízisére és bekapcsolódott az Atlas kísérlettel kapcsolatos software-fejlesztésbe is (0.4FTE). Ugyanakkor résztvett az RMKI AFS(Andrew File System) és GRID rendszerének kifejlesztésében, amely hosszú távon minden LHC kísérletben résztvevő csoport ill. kutató számára igen hasznos. Mivel azonban ez az egyébként igen fontos és eredményes tevékenysége nem tartozott a szűk értelemben vett munkatervünkbe, nem számítottuk be az összesített FTE-be.

kaloriméterének két záróegységét (EMEC – Electromagnetic Endcap)[2,6]. Ezen egységek alkalmasak precíziós mérések elvégzésére, egyben hozzájárulnak ahhoz, hogy ne 'szökhessen' el észrevétlenül energia a detektorból: így fontos szerepet játszhatnak új fizikai jelenségek, így pl. a szuperszimmetria következményeinek felfedezésében. A KFKI Részecske- és Magfizikai Kutató Intézetének kutatói 1996-tól működnek együtt a Prof. Tisserant vezette csoporttal.

Az utóbbi években az Atlas kollaboráció a detektor megépítésének és üzembe helyezésének több jelentős állomásához érkezett, ami lehetővé teszi, hogy felkészülten fogadhassa az LHC beüzemelése során először 2007 második felében várható 900GeV-es nyalábok ütközéséből származó eseményeket. Ezek közül a fontosabbak (a teljesség igénye nélkül) az alábbiak:

A *Barrel Toroid* utolsó tekercsét 2005 nyarán helyezték el a földalatti kísérleti teremben. Mélyhűtése és a 20 kA-es árammal való próbaüzem sikerrel 2006 nyarára fejeződött be. A szupravezető *Központi Solenoid* tekercs 2005 Novemberében került végleges helyére, a folyékony argonnal töltött kalorimétereket is befogadó mélyhűtő hordóba. 2006 májusában hűtötték le, és augusztusra a benne futó áram elérte a 8kA-t, ami meghaladja a 'normál' használat során, a 2 Tesla térerősség létrehozásához szükséges 7.73kA értéket. Az *elektromágneses kaloriméter* központi, ún. 'barrel' egysége szintén 2005-ben került végleges helyére, és a Solenoiddal együtt 2006 májusában hűtötték le. 2006-ban heti rendszerességgel megindult az ún. kalibrációs adatfelvétel, amelynek célja az elektronika kipróbálása és stabil működésének ellenőrzése. Az első, nagyenergiájú részecskétől származó, mintegy 30GeV energia elnyelését tanúsító jeleket ugyanez év októberében észlelték. 2003-ban a CPPM irányításával elkészült az *EMEC* mind a 16 modulja. Ezek összeállításában és elektronikus tesztjeiben magyar kutató (J.T.) is részt vett. 2005-ben befejeződött az *EMEC* CPPM-ben készült moduljainak egységes detektorrá való összeszerelése és kiolvasó-adatgyűjtő elektronikai rendszerrel való felszerelése. Üzemi hőmérsékletre való lehűtésük kb. 2 hónapot igénylő folyamata előtt és után az ionizációs tartományt lassan növekvő nagyfeszültség alá helyezték, és ellenőrizték az összes csatorna működőképességét. Szisztematikus méréseket végeztek a kalibrációs és a kiolvasó elektronika egyes tulajdonságainak, köztük az elektródák és abszorberek közti kapacitív és induktív csatolás meghatározására. A két EMEC detektor egyikét 2005-ben , a másikat 2006-ban helyezték el a földalatti kísérleti teremben. 2006 novemberére befejeződött az első egység üzembehelyezése, azaz sikeresen beillesztették az Atlas detektor egészének mechanikai és elektronikus adtagyűjtő rendszerébe. A második egység beillesztése 2007 februárjára lesz teljes. Ezzel először nyílik lehetőség a kozmikus müonok kiváltotta jelek észlelésére az EMEC-ben is.

A beüzemeléssel párhuzamosan folyt a a CERN H6 és H8 jelű tesztnyalábjaiban 2000-2002 folyamán felvett adatok kiértékelése. Ez megerősítette, hogy a záróegységeket is tartalmazó elektromágneses kaloriméter fő jellemzői a terveknek megfelelően alakulnak [1-7]. Az *energiafelbontás* sztochasztikus tagja a mérések szerint $9.23\% / \sqrt{E[\text{GeV}]}$ a központi, míg $10.3\% / \sqrt{E[\text{GeV}]}$ a záróegységekben. Az ún. lokális konstans tag 0.23% ill. 0.27%. A nagyszámú detektorcella közel azonos módon reagál azonos behatásra, a szórás („*uniformity*”) mindössze 0.6%, ami 0.7%-ra növeli az energiafelbontás ún. globális konstans tagját. Ezek az eredmények egyértelműen jelzik, hogy a központi- és a záróegységek moduljainak összeszerelése kiválóan sikerült. Kimérték az elektromos záporok súlypontját a kaloriméter hosszanti szegmenseiben. Ennek pontossága ~250 ill. 500 mikronnak adódott az első ill. a második szegmensben. Ez lehetővé teszi, hogy meghatározzuk a fő kölcsönhatási pont közelében keletkező fotonok pontos keletkezési helyét és irányát. A *helymeghatározás* pontossága 5-15 mm között

változik a foton becsapódási helyétől függően, míg az irányt jellemző *polárszög felbontás* 50-60(mrad)/ $\sqrt{E[\text{GeV}]}$. Az elektromágneses kaloriméter részecske azonosítási képessége szintén a terveknek megfelelő. Az 50GeV/c transzverzális impulzusú *fotonok semleges pionoktól való elkülöníthetőségét* vizsgálva a pion-kizárási faktor 3.54-nek adódott úgy, hogy közben a fotonok detektálási határfoka 90% maradt. A 20 (40)GeV-es *elektronok és pionok* mért tulajdonságainak összehasonlítása pedig lehetővé tette, hogy olyan mintát definiáljunk, amely 90%-os határfokú elektron azonosítás mellett mindössze 0.5% (0.38%)-ban tartalmaz pionokat.

Mind a teszt nyalábban, mind pedig majdan az LHC-nél felvett adatok analízisében igen fontos szerepe van az Atlas detektor működését leíró, *szimuláló számítógépes programrendszernek*. Az LHCnél használandó detektor-komplexumok, így az Atlas detektor geometriai és fizikai tulajdonságainak leírására korábban a Geant3, míg jelenleg az 'object oriented c++' nyelven írt *Geant4* programcsomagot használják. Az Atlas kollaboráció ezt kiegészítette az ún. *GeoModel* csomaggal, amely a detektorelemek térbeli pozíciójának nyomonkövetését és képernyőn történő megjelenítésük Atlas-specifikus követelményeinek kielégítését teszi lehetővé.

A projekt időtartama alatt a magyar fizikusok – amellet, hogy részt vettek az EMEC moduljainak CPPMben történő összeszerelésében, ezek elektronikus tesztjeiben valamint a H6 tesztnyalábbal történt besugárzások adatfelvételének folyamatában – elsősorban az elektromágneses kaloriméter zároegységeit leíró szimulációs *software fejlesztésére* koncentráltak [8-18]. Az Atlas kalorimétereit leíró program keretei vagy már adottak voltak, vagy munkájukkal párhuzamosan a software csoport más tagjai fejlesztették ki. Az EMEC- specifikus részeket a CPPM kutatóival közösen alkották meg. Az EMEC számos tulajdonságát már beépítették, de a programrendszer további fejlesztése elengedhetetlen. *Legfontosabb eredményeik* a következők:

- Beépítették az EMEC mechanikai szerkezetét a Geant4 és a GeoModel program szolgáltatásait felhasználva.
- Meghatározták a harmonika alakú elektródák közötti térrészben az elektromos térerő pontos alakját a MAFIA nevű programcsomag statikus terek kiszámítását lehetővé tevő modulja segítségével. Ennek érdekében megalkották az elektródák 2 és 3 dimenziós új modelljét. A számítások eredményeit táblázatokban foglalták össze, amelyekben interpolálva az EMEC szimulációs programban az elektromos térerősséget tetszőleges pontban meghatározhatták. Jelenleg a 2 dimenziós modellt használják.
- Kiszámították a detektorcellák szolgáltatta jeleket, figyelembe véve az elektromos térerő, a térerősség- és hőmérsékletfüggő drift sebesség valamint a rekombinációs folyamatok hatását.
- Beépítettek egy olyan mechanizmust, amelyik lehetővé teszi, hogy minden egyes ionizációs tartományban külön-külön lehessen figyelembe venni az ott ténylegesen ható nagyfeszültség értékét. Erre azért volt szükség, hogy modellezni lehessen az elektronika esetleges meghibásodásának eredményeként a feszültségeloszlásban kialakuló szabálytalanságokat.
- A 3 elektromos réteggel rendelkező kapton elektródák AutoCad tervrajzain kimérték és a szimulációs programba beépítették a cellaszerkezet olyan, korábban figyelembe nem vett részleteit, amelyek hatással vannak a jelek különböző cellák közötti megoszlására.
- Beépítették a geometriai struktúra egyik jellemző paraméterének, a harmonika alak hajtogatási szögének a nyalábtávolságtól való függését kiszámoló, mérnöki pontosságú algoritmust.

A programfejlesztéssel párhuzamosan folyt a szimuláció eredményeinek a 2000-2002-ben a teszt nyalábban mért adatokkal való összehasonlítása. A szimuláció eddig 2%-os relatív pontossággal

reprodukálta az összenergia mérésére vonatkozó kísérleti adatokat. Ezek az eredmények jelzik, hogy a jobb egyezés érdekében szükség van a tesztanyag tulajdonságainak pontosabb reprodukciójára valamint az elektródák gravitáció okozta deformálódásának figyelembe vételére.

A GEANT4 együttműködés

Urbán László az egész időszakban a nemzetközi GEANT4 Kollaboráció tagjaként dolgozott. A kollaborációban az ún. Electromagnetic Working Group munkájában vett részt, mint az elektromágneses kölcsönhatások szimulációjának egyik szerzője. Ezen részterület szinte minden részének fejlesztésében és tesztelésében aktív szerepet játszott (ionizáció, párkeltés, fékezési sugárzás, Compton szórás, fotoeffektus), de az időszak fő eredménye egy a töltött részecskék sokszoros Coulomb szórását (Multiple Coulomb Scattering, MCS) leíró originális modell kidolgozása és a modell eredményeinek a kísérleti adatokkal való részletes összevetése. A modell első verziójának ismertetése a [26] CERN preprintben található meg, a továbbfejlesztett változatokról és a kísérleti adatokkal való összehasonlításról a kollaboráció munkaértekezletein (workshopjain) tartott előadások tartalmazzák információkat [25,27-32]. A modell legújabb verzióját egyelőre a programrendszer, a leírást a programrendszer dokumentációja [33] tartalmazza. Terve van véve önálló publikáció is a témában. Urbán László természetesen szerepel a kollaboráció fő publikációinak szerzőlistáján is [19-24].

A GEANT4-ben használt MCS modell rövid leírása:

A töltött részecskék szóródását leíró elméletek ill. szimulációs kódok alapvetően két csoportba sorolhatók, a részletes és az ún. kondenzált algoritmusokra. A részletes leírás modellez minden egyes kölcsönhatást, a kapott eredmény egzakt, ha egzaktul ismerjük a kölcsönhatást leíró potenciált, viszont a számítás rendkívül időigényes, gyakorlatilag csak kisenergiás részecskék szórásának leírására alkalmazható. A szimulációs programok túlnyomó többsége a kondenzált algoritmust alkalmazza. Itt a sok rugalmas szórás összegzett hatását a részecske által megtett lépés végén vesszük figyelembe. A lépés végén számított mennyiségek : szórási szög, energiaveszteség és a térbeli eltolódás (displacement). Általában ezek a mennyiségek csak közelítő módon számíthatók, a különböző elméletek/kódok különböző közelítéseket alkalmaznak. A legáltalánosabban használt Molière féle elmélet pl. csak a szórási szöget adja meg (közelítő módon), de semmit nem mond a részecske lépés végi térbeli eltolódásáról illetve az energiaveszteség számításához alapvetően fontos úthossz korrekcióról. Ez utóbbi írja le az ún. geometriai lépéshossz - a kezdő és végpontot összekötő egyenes szakasz- és a valódi lépéshossz -a részecske által megtett valódi cikk-cakos pályaszakasz hossza- közti transzformációt. A GEANT4 MCS modell Lewis és más szerzők munkáján alapul. Lewis megmutatta, hogy az érdekes fizikai mennyiségek (szögeloszlás, térbeli eltolódás, geometriai úthossz) momentumai egzaktul kiszámíthatók a kölcsönhatás ismeretében, az egyes momentumokra explicit kifejezést adott meg a Coulomb kölcsönhatás esetére. A modell a fizikai mennyiségek valószínűségi eloszlásait ún. Modell függvények segítségével írja le, és ezen függvényekben szereplő szabad paramétereket úgy választja meg, hogy a modellbeli eloszlások momentumai megegyezzenek az elméleti (Lewis és mások által számolt) momentumokkal. Minthogy elméletileg a magasabbrendű momentumok is adottak, a modellfüggvények megfelelő megválasztásával lehetővé vált a különböző mennyiségek közti korrelációknak a figyelembe vétele is.

A modell teljesítményét a szimulált és mért mennyiségek összevetésével mérhetjük. A fejlesztés és tesztelés során ez sok különböző mérési konfigurációra megtörtént és a modell minden esetben nagy pontossággal reprodukálta a mérési eredményeket. Néhány példa a tesztelt konfigurációkra:

- szögeloszlás adott anyagú és vastagságú abszorber után (különböző abszorberek, vastagságok, részecskék, energiák);
- részecskék áthaladásának modellezése különböző vastagságú anyagon;
- részecskék visszaszóródása vastag abszorberekről;
- a részecske által egy abszorberben lerakott energia eloszlása;
- nagyenergiájú részecske által indukált elektromágneses záporok alakjának (longitudinális és tranzverzális) meghatározása;
- a detektált (látható) energia szimulációja elektromágneses kaloriméterekben.

Az eredményekről több nagy nemzetközi konferencián is elhangzottak előadások [20,21,32].

Az L3 kollaboráció

Az L3 kollaboráció a többi LEP és az SLD együttműködéssel közös összefoglaló cikkben tekintette át a Z pólusnál felvett összes adat analízise alapján a Standard Modell (SM) alapparamétereire és tulajdonságaira kapott kísérleti eredményeket [80].

Megállapították, hogy az elektromágneses mértékbozonok keltésének, bomlásának, kölcsönhatásainak tulajdonságai a SM jóslataival egyeznek meg a LEP gyorsító szolgáltatotta e^+e^- ütközések teljes tk. energiatartományában [36,37,42,43,51,55,57,60,62,65,68,85-89]. Az L3 összesített adatai alapján pl. a W bozon tömegét 0.07%-os, míg szélességét 6.5%-os pontossággal határozták meg a $161 \text{ GeV} < \sqrt{s} < 209 \text{ GeV}$ e^+e^- tk. energiatartományban, szemileptonikus és hadronikus végállapotokban talált WW párokat analizálva [79].

Számos kísérlet ellenére, továbbra sem sikerült a Standard Modell Higgs bozonjának [63,70], a SUSY jósolta Higgs bozonoknak [38,40,49,54,57,58,90], az squarkoknak és sleptonoknak [52], a neutralínóknak [57] illetve egyéb egzotikus részecskéknek (gravitínók [57], az ún. branonok [66] ill. a gerjesztett leptonok [46]) kimutatása.

Igazolták ugyanakkor a Kvantum Elektrodinamika (QED) várákozását kis virtualitással rendelkező nagy energiájú fotonok Compton szórását vizsgálva [74]. Megerősítették a QED csatolási állandójának energiafüggését nagy impulzus átadással jellemzett ($1800 \text{ GeV}^2 < -Q^2 < 21600 \text{ GeV}^2$) Bhabha szórási eseményekben [77].

Alsó korlátot adtak meg a csak gyengén kölcsönható részecskékre bomló, és a SM várákozásának megfelelően keletkező Higgs bozon tömegére ($m_H > 112.3 \text{ GeV}$, 95% CL.) [70]. Kizárták ismeretlen, semleges rezonancia létezését 4 fermiont tartalmazó, semleges áram keltette végállapotokban [76].

A SM jóslatával megegyező eredményt kaptak a $Z\gamma\gamma$ állapotok keltési hatáskeresztmetszetére egy speciális fázistér tartományban, ahol az eseményeket ugyanúgy 2 ellentétes irányú hadron jet és hiányzó energia jellemzi, mintha Higgs bozont vagy SUSY részecskéket tartalmaznának [72].

A 2-foton ütközésekben a töltött hadronok [41,45] és jetek [53] inkluzív vizsgálatát követően folytatták a $\rho^0\rho^0$, $\omega\rho^0$ párok és a J/ψ [47,93] keltési hatáskeresztmetszetének vizsgálatát a QCD és más modellek jóslatainak ellenőrzése ill. pontosítása érdekében.

Kimérték valamint MC és QCD modellekkel összehasonlították a 2 foton ütközésekben keletkezett $\rho\rho$ és bb párok tulajdonságait [73,75]. Kimérték a foton F_2^γ hadronikus struktúrafüggvényét a $11\text{GeV}^2 < Q^2 < 34\text{GeV}^2$ és $0.006 < x < 0.566$ kinematikai tartományban [71].

A teljes LEP energiatartományban vizsgálták a hadronikus események szerkezetét és általános tulajdonságait [67]. Meghatározták, többek közt, az erős csatolási állandó (α_s) energiafüggését, a töltött részecskék multiplicitás- és impulzus eloszlását. Ezeket összehasonlították a különböző közelítéseket használó QCD modellek tulajdonságaival.

Közlemények jegyzéke³

I. Atlas kísérlet:

Megjelent cikkek:

[1] Aubert B, Tisserant S, Tóth J et al.: *Performance of the Atlas Electromagnetic Calorimeter Barrel Module 0*, Nucl Inst Meth 500:202-231, 2003

[2] Aubert B, Tisserant S, Tóth J et al.: *Performance of the Atlas Electromagnetic Calorimeter End-Cap Module 0*, Nucl Inst Meth 500:178-201, 2003

[3] Aubert B, Tisserant S, Tóth J et al.: *Erratum to "Performance of the ATLAS electromagnetic calorimeter barrel module 0"* [Nucl. Instr and Meth. A 500 (2003) 202–231], Nucl Inst Meth A 517:399-402, 2004

[4] Cojocaru C, Tisserant S, Tóth J et al.: *Hadronic calibration of the ATLAS liquid argon end-cap calorimeter in the pseudorapidity region $1.6 < |\eta| < 1.8$ in beam tests*, Nucl Inst Meth A 531:481-514, 2004

[5] Colas J, Tisserant S, Tóth J et al.: *Position resolution and particle identification with the ATLAS EM calorimeter*. Nuclear Instrument and Methods in Phys.Res. A 550(2005),p. 96-115.

Cikkek előkészületben:

[6] *Construction, assembly and test of the ATLAS electromagnetic end-cap Calorimeter*. by the ATLAS Electromagnetic LAr Calorimeter group including J. Tóth article in preparation, to be submitted to NIM

[7] *Response uniformity of the ATLAS Liquid Argon Calorimeter*. by M.Aharrouche...S.Tisserant..J.Tóth et al. article in preparation, to be submitted to NIM

[8] *Specification for a detailed description of the liquid Argon calorimeter of Atlas*. by J. Boudreau, E.Monnier, J.Tóth et al. article in preparation

Egyéb:

[9] Debreczeni G, Tóth J: *Simulation of charge collection in EMEC*, Presentation on the ATLAS Software Workshop,CERN, 09.09.2003, 2003

[10] Tóth J: *On some aspects of EMEC simulation* Presentation on LAr working group meeting at CPPM, Marseille, France,06.10.2003, 2003

[11] Monnier E, Soukharev A, Tóth J: *EMEC simulation*, Presentation on ATLAS Liquid Argon Software Working Group's meeting at CERN on 08.09.2004

[12] Serfon C, Soukharev A, Tóth J: *Status of GEANT4 Simulation of ATLAS EMEC Calorimeter*, Presentation on ATLAS Liquid Argon Software & Performance Working Group's meeting at CERN on 17.11.2004., 2004

³ Ezen jegyzék a standard elektronikus-otka listával azonos közleményeket a jobb áttekinthetőség kedvéért főbb témakörök szerint csoportosítva tartalmazza. A cikkek magyar szerzői közül csak a jelen OTKA projektben résztvevők nevét tüntettük fel.

- [13] Tóth J: *Status of charge collection code for EMEC*,
Presentation on ATLAS Liquid Argon Software Working Group's meeting at CERN on 23.03.2004., 2004
- [14] Monnier E, Dekhissi B, Niess V, Toth J, Serfon C, Soukharev A et al.:
Status of EMEC simulation.
presentation on the LAr Calorimeter Performance meeting at CERN on 17.11.2005
- [15] Monnier E, Niess V, Toth J: *Endcap status*.
presentation on the LAr Calorimeter Simulation group meeting at CERN on 13.02.2006.
- [16] Dekhissi B, Monnier E, Niess V, Serfon C, Soukharev A, Toth J:
Test Beam Monte Carlo comparisons.
presentation on the Hadron Calibration Workshop, Munich 3-5 May, 2006
- [17] Dekhissi B, Monnier E, Niess V, Soukharev A, Toth J:
H6 EMEC standalone TB: Simulation and analysis update.
presentation on the LAr Calorimeter Simulation group meeting at CERN, on 21. June, 2006
- [18] Boudreau J, Monnier E, Toth J et al.:
LAr Simulations, Status & Plans.
presentation at the Atlas Software Workshop at CERN, September 6, 2006

II. GEANT4 Kollaboráció

Megjelent cikkek:

- [19] Agostinelli S, Urbán L et al.: *GEANT4, a Simulation Toolkit*,
Nucl Inst Meth A 506:250-303, 2003
- [20] Grichine VM, Urbán L et al.: *Upgrade of the GEANT4 Standard Electromagnetic Package*,
Proceedings of the 2004 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Rome, Italy, 16-22 Oct.
2004
- [21] Ivantchenko VN, Urbán L et al.: *Overview and New Developments in GEANT4 Electromagnetic Physics*,
Proceedings of the 2004 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Rome, Italy, 16-22 Oct.
2004
- [22] Bogdanov AM, Urban L et al.
Geant4 simulation of production and interaction of muons
IEEE Transactions on Nuclear Science 53, p.513-519, 2006
- [23] Allison J, Urban L et al.
Geant4 developments and applications
IEEE Transactions on Nuclear Science 53, p270, 2006
- [24] Amako K, Urban L et al.
Geant4 and its validation
Nuclear Physics B-Proceedings Supplements, 150, p. 44-49, 2006

Egyéb:

- [25] Urbán L: *Developments in Multiple Scattering*,
Presentation on GEANT4 Collaboration Workshop, CERN, 1.Oct.2002, 2002

[26] Urbán L: *Multiple Scattering Model in GEANT4*
Preprint, CERN-OPEN-2002-070, 2002

[27] Urbán L: *Multiple Scattering*
Presentation on GEANT4 User Workshop, CERN, 13.Nov.2002, 2002

[28] Urbán L: *Latest Developments in MSC.*,
Presentation on GLAST Collaboration Meeting, SLAC, USA, 10.09.2003, 2003

[29] Urbán L: *Multiple Scattering in GEANT4*,
Presentation on GEANT Collaboration Workshop, TRIUMF, Vancouver, Canada, 04.09.2003, 2003

[30] Urbán L et al.: *Latest Developments in the Standard Electromagnetic Physics*,
presentation on GEANT4 Workshop, Catania, Italy, 07.10.2004

[31] Urbán L: *A Model for Multiple Scattering in GEANT4*,
Presentation on Geant4 Collaboration Workshop, Bordeaux (France) ,7-10 November,2005

[32] Urbán L: *A Model for Multiple Scattering in GEANT4*,
Presentation on the Monte Carlo 2005 Topical Meeting, Chattanooga(Tennessee,USA),17-21 April, 2005.

[33] Urbán L. et al: *Geant4 Physics Reference Manual*
<http://geant4.web.cern.ch/geant4/UserDocumentation/UsersGuides/PhysicsReferenceManual/html>

III. LEP – L3 Együttműködés

Megjelent cikkek:

[34] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 540 (2002) pp. 185-198.
Measurement of Genuine Three-Particle Bose-Einstein Correlations in Hadronic Z
Decay.

[35] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 547 (2002) pp. 139-150.
Measurement of Bose-Einstein Correlations in $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$ Events at LEP.

[36] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 540/1-2, 2002, pp. 43-51.
The $e^+e^- \rightarrow Z\gamma\gamma \rightarrow q\bar{q}\gamma\gamma$ Reaction at LEP and
Constraints on Anomalous Quartic Gauge Boson Couplings.

[37] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 547 (2002) pp. 151-163.
Production of Single W Bosons at LEP and Measurement of WW gamma Gauge
Coupling Parameters.

[38] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 545 (2002) pp. 30-42.
Search for Neutral Higgs bosons of the Minimal Supersymmetric Standard Model
in e^+e^- Interactions at \sqrt{s} up to 209 GeV.

[39] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 549 (2002) pp. 290-300.

- Search for Single Top Production at LEP.
- [40] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 568 (2003) pp. 191-204.
Search for a Higgs Boson Decaying to Weak Boson Pairs at LEP.
- [41] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 554 (2003), pp. 105-114.
Inclusive Charged Hadron Production in Two-Photon Collisions at LEP.
- [42] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 561 (2003), pp. 73-81.
Study of the $e^+e^- \rightarrow Z e^+e^-$ Process at LEP.
- [43] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 557 (2003), pp. 147-156.
Measurement of W Polarisation at LEP.
- [44] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 561 (2003), pp. 202-212.
Search for Colour Reconnection Effects in $e^+e^- \rightarrow W+W^- \rightarrow$ hadrons through
Particle-Flow Studies at LEP.
- [45] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 571 (2003), pp. 11-20.
Proton-Antiproton Pair Production in Two-Photon Collisions at LEP.
- [46] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 568 (2003), pp. 23-34.
Search for Excited Leptons at LEP.
- [47] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 568 (2003), pp. 11-22.
Measurement of Exclusive $\rho^0 \rho^0$ Production in Two-Photon
Collisions at High Q^2 at LEP.
- [48] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Submitted to European Physical Journal C.
CERN-EP/2003-019; 5 May 2003. L3 preprint 270.
Measurement of Branching Fractions of Tau Hadronic Decays.
- [49] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 565 (2003), pp. 61-75.
Search for the Standard Model Higgs Boson at LEP.
- [50] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 581 (2004) pp. 19-30.
Search for Colour Singlet and Colour Reconnection Effects in Hadronic Z
Decays at LEP.
- [51] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 572 (2003), pp. 133-144.
Z Boson Pair-Production at LEP.
- [52] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 580 (2004) pp. 37-49.

Search for Scalar Leptons and Scalar Quarks at LEP.

[53] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 602 (2004), pp. 157-166.
Inclusive Jet Production in Two-Photon Collisions at LEP.

[54] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 575 (2003), pp. 208-220.
Search for Charged Higgs Bosons at LEP.

[55] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 585 (2004), pp. 42-52.
Measurement of the Z-boson mass using Z gamma events at centre-of-mass
energies above the Z pole.

[56] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 576 (2003), pp. 18-28.
Search for Doubly-Charged Higgs Bosons at LEP.

[57] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 587 (2004), pp. 16-32.
Single- and Multi-Photon events with Missing Energy in e+e- Collisions at
LEP.

[58] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 583 (2004), pp. 14-27.
Flavour Independent Search for Neutral Higgs Bosons at LEP.

[59] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 585 (2004), pp. 53-62.
Muon-Pair and Tau-Pair Production in Two-Photon Collisions at LEP

[60] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
European Physical Journal C40 (2005) 333-342.
Study of Spin and Decay-Plane Correlations of W Bosons in the e+e-
→ W+W- Process at LEP.

[61] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B, Volume 586 (2004), pp. 140-150.
Inclusive Lambda Production in Two-Photon Collisions at LEP

[62] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 586 (2004) 151-166
Measurement of Triple-Gauge-Boson Couplings of the W Boson at LEP

[63] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 589 (2004) 89-102
Search for Anomalous Couplings in the Higgs Sector at LEP

[64] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 597 (2004) 26-38
Measurement of Exclusive rho+rho- Production in High-Q² Two-Photon
Collisions at LEP

[65] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 597 (2004) 119-130

Study of the $e^+e^- \rightarrow Z \gamma$ Process at LEP and Limits on Triple Neutral-Gauge-Boson Couplings

- [66] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 597 (2004) 145-154
Search for Branons at LEP
- [67] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Reports 399 (2004) 71-174.
Studies of Hadronic Event Structure in e^+e^- Annihilation from 30 GeV to 209 GeV with the L3 Detector
- [68] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 600 (2004) 22-40
Measurement of the Cross Section of W-boson pair production at LEP
- [69] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 604 (2004) 48-60
Measurement of Exclusive $\rho^0 \rho^0$ Production in Mid-Virtuality Two-Photon Interactions at LEP
- [70] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 609 (2005) 35-48
Search for an Invisibly-Decaying Higgs Boson at LEP
- [71] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 622 (2005) 249-264
Measurement of the photon structure function F_2^γ with the L3 detector at LEP
- [72] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 613 (2005) 118-127
Z-boson production with two unobserved, back-to-back, hard photons at LEP
- [73] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 619 (2005) 71-81
Measurement of the Cross Section for Open-Beauty Production in Photon-Photon Collisions
- [74] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 616 (2005) 145-158
Compton Scattering of Quasi-Real Virtual Photons at LEP
- [75] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 615 (2005) 19-30
Measurement of Exclusive $\rho^+\rho^-$ Production in Mid-Virtuality Two-Photon Interactions and Study of the $\gamma \gamma^* \rightarrow \rho^0 \rho^0$ Process at LEP
- [76] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 616 (2005) 159-173
Neutral-Current Four-Fermion Production in e^+e^- Interactions at LEP
- [77] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 623 (2005) 26-36
Measurement of the Running of the Electromagnetic Coupling at Large Momentum-Transfer at LEP

- [78] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
European Physical Journal C47 (2006) 1-19
Measurement of Hadron and Lepton-Pair Production in e+e- Collisions at
 $\sqrt{s}=192-208\text{GeV}$
- [79] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
European Physical Journal C45 (2006) 569-587
Measurement of the Mass and Width of the W boson at LEP
- [80] The ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, SLD Collaborations, the LEP Electroweak Working
Group, the SLD Electroweak and Heavy Flavour Group
Physics Reports 427 (2006) 257-454
Precision Electroweak Measurements on the Z Resonance
- [81] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 638 (2006) 128-139
Analysis of the $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ and $\pi^+\pi^0\pi^-\pi^0$ Final States in
Quasi-Real Two-Photon Collisions at LEP
- [82] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Physics Letters B 598 (2004) 15-32
Measurement of the Atmospheric Muon Spectrum from 20 to 3000 GeV
- [83] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Astroparticle Physics 23 (2005) 411-434.
Measurement of the Shadowing of High-Energy Cosmic Rays by the Moon: A Search for TeV-
Energy Antiprotons
- [84] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
Astroparticle Physics 25 (2006) 298-310..
A Search for Flaring Very-High-Energy Cosmic gamma-ray Sources with the L3+C Muon
Spectrometer
- Preprintek:
- [85] The LEP Collaborations ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, the LEP Electroweak Working
Group, the SLD Heavy Flavour and Electroweak Groups,
including Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J :
CERN-EP/2002-091; 17 December 2002.
A Combination of Preliminary Electroweak Measurements and Constraints on the
Standard Model.
- [86] The LEP Collaborations ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, the LEP Electroweak Working
Group, the SLD Heavy Flavour and Electroweak Groups,
including Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J :
CERN-EP/2003-091; December 2003.
A Combination of Preliminary Electroweak Measurements and Constraints on the
Standard Model
- [87] The LEP Collaborations ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, the LEP Electroweak Working
Group, the SLD Heavy Flavour and Electroweak Groups,
including Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J :
CERN-PH-EP/2004-069; December 2004.
A Combination of Preliminary Electroweak Measurements and Constraints on the
Standard Model.

[88] The ALEPH, DELPHI, L3, OPAL Collaborations and the LEP Electroweak Working Group
including Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J :
CERN-PH-EP/2005-051, November 9, 2005
A Combination of Preliminary Electroweak Measurements and Constraints on the Standard Model

[89] The ALEPH, DELPHI, L3, OPAL Collaborations and the LEP Electroweak Working Group
including Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J :
CERN-PH-EP/2006-042, December 14, 2006
A Combination of Preliminary Electroweak Measurements and Constraints on the Standard Model

Cikkek előkészületben:

[90] The ALEPH, DELPHI, L3, OPAL Collaborations and the LEP Higgs Working Group
including Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J :
To appear in the European Physical Journal
CERN-PH-EP/2006-001, January 2006
Search for Neutral MSSM Higgs Bosons at LEP

[91] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
To appear in the European Physical Journal
CERN-PH-EP/2006-028, July 12, 2006.
Study of Inclusive Strange-Baryon Production and Search for Pentaquarks in Two-Photon Collisions at LEP

[92] L3 Collab., Achard P, Boldizsár L, Debreczeni J, Tóth J et al.,
To appear in the Journal of High Energy Physics
CERN-PH-EP/2006-041, December 13, 2006
Study of Resonance Formation in the Mass Region 1400-1500MeV through the Reaction $\gamma\gamma \rightarrow K_s K_{\pi}$

Egyéb:

[93] Gergely Debreczeni: Muon Pair Production in two photon collisions.,
Presentation on the L3 Collaboration Meeting, 23.06.2003,CERN, 2003