

MAGYARORSZÁG HUSZONEGY ÉVE A CERN-BEN

Horváth Dezső

az MTA doktora, tudományos osztályvezető,
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
horvath.dezso@wigner.mta.hu

Csatlakozás

Magyarország 1992-ben csatlakozott a CERN-hez, nem sokkal követve Lengyelországot és az akkori Csehszlovákiát. Akkor ez óriási dolog volt, egyike az első lépéseknek az Európai Unió felé (*1. kép*). Pungor Ernő és Zimá-

nyi József akadémikusok szervezték, és az Antall-kormány hagyta jóvá, hajtotta végre. Akárcsak a tízéves évfordulót 2002-ben, a húszéveset is többszörösen megünnepeltük: a *Fizikai Szemle* 2012. októberi számát CERN-es visszaemlékezéseknek szenteltük, ugyancsak októberben ünnepi ülést rendez-



1. kép • Göncz Árpád köztársasági elnök a CERN-ben, 1997. Áll: Michelberger Pál (MTA). Első sor: Vesztergombi György (Wigner FK), Göncz Árpád, Siegler András (NKTH). A 3. sor jobb szélén Igó-Kemenes Péter (Heidelbergi Egyetem), jobbra mögötte, félig eltakarva Hajdu Csaba (Wigner FK)

tünk az Akadémián, amelyen részt vett Rolf-Dieter Heuer, a CERN főigazgatója, és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat segítségével ott helyben sikerült a *Fizikai Szemle* CERN-számát kiosztanunk a résztvevők között. Akárcsak tíz éve, most is összeállítottunk egy CERN-es különszámot a *Térszemle Világa* folyóiratnak; a *Fizikai Szemlével* ellentétben annak cikkei inkább a fizikára összpontosítottak. A húszéves évfordulót megkoronázta a Higgs-bozon keresésének óriási médiafigyelemmel bejelentett eredménye: a részecskefizika hihetetlenül sikeres elméletének a Higgs-bozon volt az utolsó, még meg nem figyelt részecskéje, és 2012-ben igencsak közel kerülünk hozzá a CERN Nagy hadronütköztetőjénél (LHC); a munkában részt vett egy viszonylag nagy magyar csoport is.

Magyarország huszonegy éve a CERN hivatalos tagországa, de magyar kutatók már jóval régebben, a hetvenes évek óta dolgoznak a CERN-ben. Eleinte ennek leggyakoribb módja az volt, hogy magyarok a dubnai Egyesített Atommagkutató Intézet, az EAI színeiben vettek részt CERN-i kísérletekben, a CERN és az EAI között ugyanis a kezdetektől – hidegháború ide vagy oda – igen szoros, baráti együttműködés volt. Jelenleg is évente közös iskolát szerveznek doktoranduszok számára (a 2013-as CERN–EAI közös részecskefizikai iskolát éppen Magyarországon, Parádfürdőn rendezték), és a dubnai intézet egyike az LHC-kísérletek egyik legjelentősebb részt vevő intézeteinek.

Méretek és technika

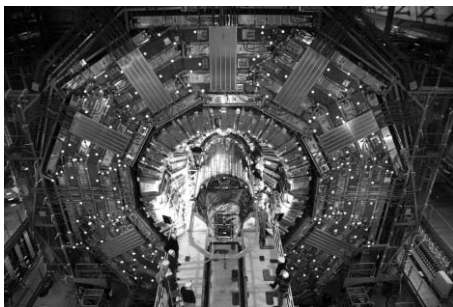
A részecskefizika különösen érdekes mind a kutatók, mind a nagyközönség, mind pedig az ipari fejlesztés szempontjából. Ami a részecskefizikus kutatók számára magától értetődő, az a más területen dolgozó kutatókat

elképeszti: az együttműködések és mérőrendszerek iszonyatos mérete és a némileg ipari jellegű szervezethez eredményeképpen születő, több ezer szerzős publikációk. A nagyközönség fantáziáját is a méretek mozgatják: ha a világ adófizetői hajlandók voltak összeadni csaknem tízmilliárd eurót az LHC (és detektorai) megépítésére, amelynek egyik fő célja a Higgs-bozon megtalálása, akkor az a Higgs-bozon biztosan nagyon érdekes, kering is róla rengeteg vicc az interneten. Az ipari fejlesztést is a méretek érdeklik, hiszen egy-két eszközt még megveszünk a boltban, de sok ezer egyformára már érdemes célberendezést fejleszteni.

A CERN jelenleg a világ legnagyobb részecskefizikai laboratóriuma: mintegy 2800 főt foglalkoztat, és ezzel tízezernél jóval több, a kísérletekben részt vevő kutatót és több mint ezer diákot szolgál. Részecskefizikai alap kutatásra szakosodott intézmény, jelentősége azonban messze túlnő a részecskefizikán. *Georges Charpak* 1968-ban építette meg a CERN-ben az első sokszálas proporcionális számlálót, amely azután forradalmasította a részecskeészlelés technikáját (nemcsak a részecskefizikában), és Nobel-díjat hozott a felfedezőnek. Az a technológiai kihívás, amelyet az újabb és újabb gyorsítók és detektorrendszerek kifejlesztése és megépítése követel, komoly fejlődést hozott a vákuumtechnikában, az elektronikában és a számítástechnikában egyaránt. A LEP (Nagy elektron–pozitron ütköztető, 1989–2000) gyorsító DELPHI (Detector with Lepton, Photon and Hadron Identification) detektora a világ legnagyobb szupravezető mágnesét tartalmazta 1989-ben, és a 2009-ben indult LHC (Large Hadron Collider, Nagy hadronütköztető) CMS (Compact Muon Solenoid) detektora tartalmazza a jelenlegi legnagyobb szupravezető szolenoidot: a hat méter belső átmérőjű hen-

gerben 3,8 T mágneses tér honol. A CERN körül, a svájci–francia határ mindkét oldalán, hatalmas technikai parkok jöttek létre fejlesztőcégek tucatjaival.

A CERN máig legnagyobb jelentőségű (mellék)terméke a „világháló”. 1990-ben *Tim Berners-Lee* két munkatársával arra fejlesztette ki, hogy a fizikusok az irodáikból (legyenek azok Genfben vagy Londonban) tudják ellenőrizni a kísérlet állapotát (a főnöke azt írta az eredeti tanulmánytervre, hogy *Vague, but*

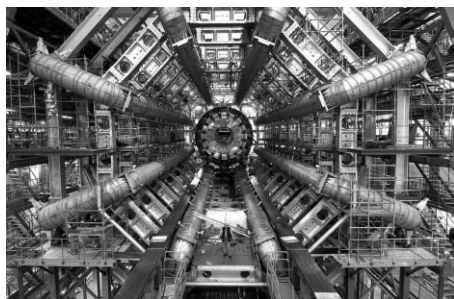


2. kép • CMS (Compact Muon Solenoid). Egyike a két óriási, általános célú LHC-együttműködésnek, háromezernél több fizikus és mérnök, valamint mintegy ezer egyetemi hallgató vesz részt benne negyvenegy ország 179 intézetéből, közöttük negyven magyar kutató az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontjából, az MTA Atommagkutató Intézetéből, a Debreceni Egyetemről, az Eötvös Loránd Tudományegyetemről és a Budapesti Műszaki Egyetemről. 2012 júliusában jelentette be az ATLAS-kísérlettel együtt a Higgs-bozonhoz hasonló részecske felfedezését. Részecskeészlelő rendszere a világ legnagyobb, 6 m belső átmérőjű szupravezető mágnesét tartalmazza: a detektor 21 m hosszú és 15 m átmérőjű, a súlya 14 000 tonna. Magyar fizikusok több részegységét segítenek üzemben tartani és fejleszteni, és igen jelentős a részvételük a nehézionprogramban.

exciting [bizonytalan, de izgalmas]), és néhány év alatt robbanásszerűen elterjedt a világban, 1994-ben már a vatikáni könyvtárban barangoltam vele. A CERN a jelenleg igen gyorsan fejlődő Grid-technológia fejlesztésében is élen járt: egy 2004-ben kezdődött EU-projekt keretében a világ 80 intézményének konzorciumát koordinálta egy egységes Grid-rendszer kifejlesztése érdekében, és nemcsak a nagyenergiás fizika számára: egy évtizede például otthont adott az emlőrák diagnosztikáját szolgáló európai MammoGrid rendszernek. Sok közérdeklődésre is számot tartó érdekesség olvasható a CERN honlapján (URL).

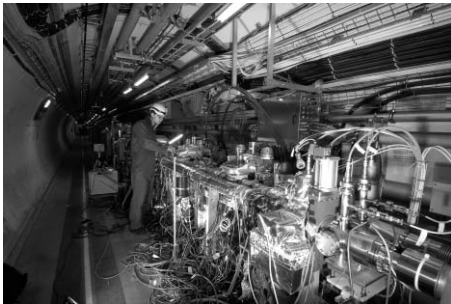
A Higgs-bozon

2012. július 4-én világszerte óriási érdeklődés kísérte, amikor az ATLAS és a CMS bejelentette, hogy sikerült kimutatnia egy új részecs-



3. kép • ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS). A CMS mellett a másik, általános célú LHC-együttműködés, háromezernél több fizikus és mérnök és vagy ezer egyetemi hallgató vesz részt benne 38 ország 176 intézetéből, közöttük négy magyar fizikus. 2012 júliusában jelentette be a CMS-kísérlettel együtt a Higgs-bozonhoz hasonló részecske felfedezését. A világ legnagyobb részecskeészlelő rendszerével működik: szupravezető toroid- és szolenoid-mágnes is tartalmazó detektora 45 m hosszú és 25 m átmérőjű, a súlya 7000 tonna.

két, amelynek a Standard Modell által megjósolt Higgs-bozonhoz hasonló tulajdonságai vannak. Az új részecske megjelenése igen meggyőző: két független kísérlet, két különböző gyorsítóenergián, több különböző módon, de ugyanazokkal a tulajdonságokkal mutatta ki. Annak egyértelmű eldöntéséhez, hogy az valóban a *Peter Higgs* által megjósolt részecske-e, további vizsgálatok szükségesek, de a 2012 folyamán gyűjtött további adatok megerősítették a kezdeti eredményeket, és minden megfigyelt adat azt látszik alátámasztani, hogy valóban egy Higgs-bozont, és nagy valószínűséggel a Standard Modell Higgs-bozonját látjuk. A két kísérlet 2013-ban tovább finomította a Higgs-bozon keresésében elért addigi eredményeit. Ezek szerint a CMS új bozonja a $125,7 \pm 0,3 \pm 0,3$ GeV, az ATLAS-é pedig a $125,5 \pm 0,2 \pm 0,6$ GeV tömegnél lát-

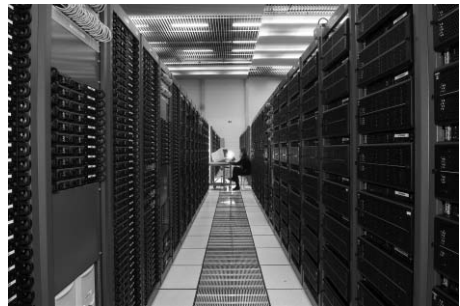


4. kép • *TOTEM*. Az LHC-ben kis szögben szóródott protonok és más ott keletkezett részecskék azonosítására alakult együttműködés. Észlelőrendszere a CMS-detektor két oldalán helyezkedik el a nyalábvezetékben, illetve annak közvetlen közelében, a CMS közvetlen szomszédságából egészen több száz méterre elnyúlva. Jelentős magyar csoport működik benne, főként az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontjából és az Eötvös Loránd Tudományegyetemről, amely komoly részt vállalt a detektor ellenőrzőrendszerének megépítésében.

ható, ahol az első bizonytalanság statisztikus, a második szisztematikus eredetű, a két eredmény tehát statisztikusan azonos, messzemenően megerősíti egymást.

Oktatás

A CERN az ismeretterjesztést és a közoktatást is támogatja: évente mintegy nyolcvanezer látogatót fogad, főként iskolás csoportokat, és többféle oktatást is szervez mind középiskolás diákok, mind pedig fizikatanárok számára. A diákoknak szánt diákműhelyek (hivatalos nevükön *masterclass*, mesterkurzus) minden év március-áprilisában vannak. A CERN-tagországok különböző intézményei diákcsopor-



5. kép • *WLCG (Worldwide LHC Computing Grid)*. Az LHC adatainak tárolására és feldolgozására szolgáló, világméretű számítógéphálózat. Rétegekre tagolódik. A központi Tier-0 jelenleg a CERN-ben van, de hamarosan CERN@Wigner néven Budapestre költözik. A Tier-1 elsődleges adattároló és -feldolgozó központok és a Tier-2 adatelemző központok szét vannak szórva a világban. A BUDAPEST Tier-2 állomás 2003-ban, hetedikként csatlakozott a WLCG-hez, és azóta egyike lett a CMS-kísérletek legmegbízhatóbb állomásainak, 2012-ben 99%-os rendelkezésre állással és megbízhatósággal az első helyen állt az ötvenkét Tier-2 központ között. A képen a CERN-i adatközpont egyik folyosója látható.

tokat látnak vendégül egy-egy napra: délelőtt előadásokat hallgatnak a részecskefizikáról, délután pedig ténylegesen mért LHC-adatokat elemeznek. Az eredményeket ezután nemzetközi videokonferencia keretében összehasonlítja különböző országok öt-hat csoportja. A hazai diákműhelyeket *Jancsó Gábor* szervezi Budapesten, *Horváth Árpád* Székesfehérvárott és *Ujvári Balázs* Debrecenben. Ezek az akciók egyre népszerűbbek a gyerekek körében: a 2013-as budapesti diákműhelyre például háromszor annyian jelentkeztek, mint a befogadóképesség (húsz főt tudunk fogadni), ezért már három éve a hivatalos, CERN-es műhely után egy sajátot is szervezünk azonos felépítéssel, csak a nemzetközi videokonferenciát a CERN-ben dolgozó magyarokkal szervezzük, magyar nyelven.

A fizikatanárok CERN-es továbbképzése is több szinten folyik: a CERN kétféle is szervez és támogat, kéthetést angol és egyhe-



6. kép • LEP (*Large Electron–Positron Collider*).

A CERN-ben 1989 és 2000 között működött Nagy elektron–pozitron ütköztető részecskegyorsító, 27 km kerületű, 100 m mély, föld alatti alagútban Svájc és Franciaország között. Elektront és pozitron ütköztetett kezdetben 91 GeV, majd az energiát fokozatosan növelve 200 GeV fölötti energián. Négy nagy kísérlete volt: ALEPH, DELPHI, L₃ és OPAL. Leszerelése után a LEP-alagútban építették fel az LHC-t.

test anyanyelven. Az utóbbit mi, magyarok szerveztük meg elsőként 2006-ban, és azóta évente ismétljük: *Sükösd Csaba* és *Jarosievitc Beáta* (BME) esetenként negyven magyar fizikatanárt visz busszal a CERN-be, ahol egy hétig előadásokon, gyakorlatokon vesznek részt, és meglátogatják a kísérleti berendezéseket; azóta már évente harminc hasonló kurzus van különböző nyelveken. Az eddigi magyar nyelvű iskolák teljes anyaga megtalálható a CERN Hungarian Teacher Programme lapon (URL₂).

Magyarok a CERN-ben

A magyar ismeretterjesztő sajtó mindig komoly figyelmet szentelt a CERN-i kutatások



7. kép • L₃. A CERN-ben 1989 és 2000 között működött LEP (Nagy elektron–pozitron ütköztető) részecskegyorsító egyik legnagyobb együttműködése volt, jelentős magyar csoport vett részt benne a kezdetektől, főként az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetéből és a Debreceni Egyetemről. A kísérlet fő célja a Standard modell ellenőrzése és a Higgs-bozon, valamint új fizika keresése volt; az ellenőrzés sikerült, de Higgs-bozont és új fizikát nem talált. Jelentős volt a magyar hozzájárulás a detektor optikai helyzetmeghatározó rendszeréhez és a fotonfizikai eredményeihez. Eredményeiből számos magyar diplomamunka és PhD-dolgozat született. Az L₃-kísérlet mágnesét a LEP lebontása után az LHC ALICE kísérlete hasznosította.

magyar vonatkozásainak. 1994-ben a *Fizikai Szemle* különszámot szentelt a CERN fennállásának 40. évfordulójára, és a *Természet Világának* is volt részecskefizikai különszáma (Mikrovilág, 2003), amelyben a kísérleti vonatkozású cikkek a CERN-re összpontosultak. Amikor Zimányi Józseffel a *Fizikai Szemle* 2000-es évi harmadik, CERN-különszámát szerkesztettük csatlakozásunk tizedik évfordulója alkalmából, felhívásunkra annyi cikk érkezett, amennyi messze meghaladta egy szám terjedelmét, ezért a különszám megjelenése után csepegtetve, hónapokig jelentek meg eredetileg oda szánt cikkek. A 2012-es felhívásunknak is hasonló eredménye lett. A húszéves magyar tagság kapcsán ugyan most

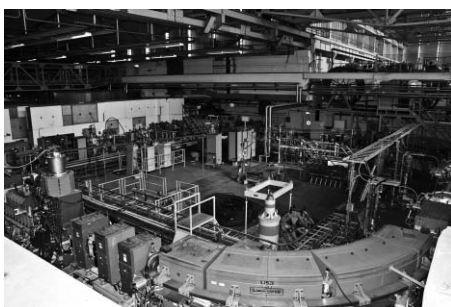


8. kép • NA35, NA49 és NA61. Egymást követő és egymásból kifejlődő nehézion-kísérletek a CERN SPS-gyorsítójánál, jelentős magyar részvétellel, főként az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontjából és az Eötvös Loránd Tudományegyetemről. Magyar kutatók több detektoregységet is építettek az NA49-hez és NA61-hez, és jelentős volt részvételük az adatgyűjtő rendszer megépítésében és üzemeltetésében. Habár közvetlenül megfigyelniük nem sikerült, közel kerültek a kvark-gluon-plazma előállításához, és a fizikai eredményekből számos magyar PhD-munka született, jelentős magyar kísérleti nehézion-fizikai iskolát nevelt fel.

másfajta cikkek megírására kértük CERN-es kollégáinkat: írjanak személyes élményeikről, kalandjaikról. Hátha abból a lelkesedésből, amivel csatlakoztunk és részt vettünk a CERN tevékenységében, sikerül valamit a fiataloknak átadni, és növelni bennük a természettudományok iránti érdeklődést. A *Fizikai Szemle* 2012. októberi számában összegyűjtött mindegyik írás ilyen személyes és helyenként kimondottan mulatságos élménybeszámoló.

A CERN kísérleti berendezései

A továbbiakban címszavakban felidézük a CERN főbb mérőberendezéseit. Az évtizedek folyamán számtalan cikkben írtuk le ezeket, többek között a *Magyar Tudományban* valamint a *Fizikai Szemle* cikkeiben és tavalyi tematikus számában, de röviden talán itt is érdemes áttekinteniük.



9. kép • LEAR (Low Energy Antiproton Ring). A CERN Alacsonyenergiás antiproton-gyűrűje, 1989 és 1996 között működött. Számos kísérlet látott el gyors vagy lassú antiprotonokkal, többek között ott fedezték fel az antiproton és pozitron kötött állapotát, az antihidrogén-atomot. Két LEAR-kísérletnél dolgozott magyar csoport az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetéből: a Crystal Barrel mezonspektroszkópiái és a PS-205 atomfizikai együttműködésnél.

A CERN gyorsítókomplexuma 2000 előtt

A legnagyobb gyűrű a LEP, a Nagy elektron–pozitron ütköztető volt négy kísérlettel, amelyek közül kettőben, az L3- és az OPAL-kísérletben működött magyar csoport. A részecskék energiáját több gyorsító növelte a kívánt értékre, és valamennyi közbenső gyorsító közvetlen kísérleteket is szolgált. Az elektronok és pozitronok EPA-ból (elektron–pozitron akkumulátor) indultak, és a Proton-



10. kép • AD (Antiproton Decelerator). A CERN antiproton-lassító berendezése. A Protonszinkrotron nyalábjának irídium-céltárgyba ütköztetésével gyors antiprotonokat állítanak elő, és azokat több lépésben lelassítják, hogy elektromágneses csapdában vagy ritka gázban be lehessen fogatni őket. Célja az antiproton tulajdonságainak tanulmányozásával az anyag és antianyag egyenértékűségét kimondó CPT-(töltés-, tér- és időtükrözési) szimmetria kísérleti ellenőrzése. Főbb kísérletei az ALPHA (Antimatter Laser Physics Apparatus), ASACUSA (Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons), az ATRAP (Antimatter TRAP) és AEGIS (Antihydrogen Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy). Magyar csoport az ASACUSA-ban működik. A képen az Antiproton Decelerator mérőcsarnoka látható három kísérlet éppen ott levő résztvevőivel.

szinkrotron (PS) és a Szuper-protonszinkrotron (SPS) gyorsítókon keresztül jutottak a LEP-be. Az SPS-protonokat és nehézionokat juttatott az ott telepített kísérleteknek, amelyek közül az NA-49 nehézion-kísérlet jelentős magyar részvétellel működött. A protonok a LINAC2 lineáris gyorsítóból a PSB-be (Proton-szinkrotron booster) jutnak, ahonnan a részecskék felét az ISOLDE (Isotope Separator OnLine DEvice) izotóp-szeparátorba juttatják, ahol atomi nyalábokat készítenek a segítségükkel. A protonok másik fele a PS-ban 24 GeV energiát nyer, majd továbbjut az SPS-be, vagy antiprotonokat állítanak elő vele az AAC (Antiproton akkumulátor / kollektor) számára, amely azokat folyamatosan gyűjti. Amikor a LEAR (Low Energy Antiproton RING, alacsonyenergiás antiproton-gyűrű) kifogy az antiprotonokból, az AAC átküldi a felgyűlt antiproton-készletét a PS-be, amely azt kellőképpen lelassítva a LEAR-gyűrűbe juttatja. A LEAR állandó nyalábhűtés közben lelassítja őket, majd fokozatosan a kísérletekhez engedi, az azok által kívánt ütemben. Az ólomionok a LINAC3-ból indulva járók végig a protonok útját egészen az SPS-kísérletekig.

A jelenlegi gyorsítókomplexum

A CERN jelenlegi zászlóshajója az LHC (Large Hadron Collider, Nagy hadronütköztető), amely 2012-ben 4 TeV ($1 \text{ TeV} = 1000 \text{ GeV} = 10^{12} \text{ eV}$) energiájú protonokat ütköztetett egymással négy pontban, az ALICE, ATLAS, CMS és LHCb óriási észlelőrendszerek középpontjában. A protonok a korábban leírt LINAC2-, PSB-, PS- és SPS-úton, két irányból jutnak egymással szemben keringve az LHC-ba. A nehézionok is ugyanezt az utat járók be a LEAR helyén épült LEIR (Low Energy Ion Ring, alacsonyenergiás

iongyűrű) közbeiktatásával. Az LHC ólom-ionokat is tud egymással ütköztetni, sőt 2013-ban proton-ólom ütközéseket is végzett. Az AAC helyén most az AD (Antiproton Decelerator, antiproton-lassító) működik. Az LHC-kísérletek közül az ALICE-ban és a CMS-ben van nagy magyar csoport, működik még magyar csoport a CMS két oldalán felépült TOTEM-kísérletben, valamint az ATLAS-ban is. Ezeken kívül az SPS

SHINE kísérletében (az NA-49 utóda) van még magyar csoport, valamint az AD ASACUSA együttműködésében.

Kulcsszavak: *részecskefizika, CERN, Higgs-bozon, nemzetközi együttműködés, részecskegyorsítók, Nagy hadronütköztető*

URL1: <http://intranet.cern.ch/Public/>

URL2: http://education.web.cern.ch/education/Chapter1/Page3_HU.html

