

Örömmel teszek eleget *Horváth Dezső* felkérésének, hogy a CERN-nel (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire, Európai Nukleáris Kutatási Szervezet) kapcsolatos visszaemlékezéseimből néhányat leírjak, hiszen tudományos tevékenységem túlnyomóan ehhez a nagyszerű intézethez kötődött.

CP-sértés

1966-ban az a szerencse ért, hogy Dubnából fél évre kiküldtek a CERN-be. A kutatási téma a CP-sértés részletes tanulmányozása volt. A kombinált tér- és töltéstükrözési (CP) szimmetria megsérülését 1964-ben fedezték fel kimutatván, hogy nemcsak a rövid életű (K_s), hanem a hosszú élettartammal rendelkező (K_L) részecske is elbomlik a pozitív CP-állapotú $\pi^+\pi^-$ végállapotba. Külön rejtély volt, hogy a szimmetria csak igen csekély mértékben sérült meg, egyesek egy új, szupergyenge kölcsönhatás nyomát vélték megtalálni benne. Kísérleti szempontból a soron következő kérdés az volt, vajon a K_L részecske elbomlik-e két *semleges* pionra is.

A $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$ kimutatására a CERN-ben egy egészen különleges buborékkamra épült. A K_L nyalábot hosszú vákuumcsőben vezették el a kamráig, sőt a kamrán belül is, mert ha bomlása előtt anyaggal találkozik, átalakul K_S -sé, ami természetesen CP-sértés nélkül is elbomlik két pionra. Minthogy a semleges pionok keletkezésük után igen gyorsan két fotonra bomlanak, a $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$ bomlást a kamrában négy foton keletkezése jelezte. Igen ám, de a K_L CP-sértés nélkül több ezerszer nagyobb valószínűséggel elbomlik három semleges pionra, ami hat foton eredményez. Tehát nagyon fontos volt meggyőződni arról, hogy minden foton detektál a kamra. E célból a kamrán áthaladó vákuumcső alatt, a kamra alján a dugattyúra egy tükröt helyeztek el, amelyben látni lehetett, ha egy foton a vákuumcső hátsó feléről indult, amit a fényképező kamerákkal nem lehetett volna közvetlenül észlelni. Emellett természetesen pontosan meg kellett határozni a detektált fotonok össztömegét, ami a semleges kaon tömegével kellett megegyezzen.

Miután sikerült kimutatni a $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$ bomlást [1], a következő kérdés az volt, vajon a $K_L \rightarrow 2\pi$ átmenet annak a következménye-e, hogy a K_L két különböző CP-paritású állapot keveréke, vagy a semleges K mezonok bomlása közvetlenül is sérti a CP-szimmetriát. A válasz közelebb vitt volna a szimmetriasértés eredetéhez. Ehhez szükséges volt összehasonlítani a $K_L \rightarrow 2\pi$ és $K_S \rightarrow 2\pi$ bomlási amplitúdók arányát a töltött, illetve semleges pionok esetében. Ha a két arány azonos, úgy a CP-szimmetria nem sérül meg közvetlenül. Ami a $K_S \rightarrow \pi^0\pi^0$ bomlást illeti, ennek valószínűsége akkoriban nem volt eléggé pontosan ismert, ezért ennek meghatározását Budapesten megismételtük.

André Lagarrigue,¹ az Orsay-i Lineáris Gyorsító Laboratórium igazgatója kölcsönözte nekünk a felvételeket, akinek vendégszeretetét élveztem azután, hogy dubnai kiküldetésem letelt. A felvételeket egy hagyományos, kisméretű buborékkamrával vették fel jóval korábban, és teljesen más célból. Ebben az esetben a detektor és az adatok kiértékelése is sokkal egyszerűbb volt, mert a kaonok a buborékkamrában keletkeztek és ezért ott a hosszú életű komponens megjelenésének valószínűsége elhanyagolható volt. Pusztán „csak” le kellett számolni azon eseményeket, ahol négy foton a kamra egy pontjából indult ki. Eredményünk akkoriban a legpontosabbak egyike volt [2]. Ennek ellenére a fent említett kérdés megválaszolására több mint 30 évig kellett várni, mert – mint utóbb kiderült – a két arány rendkívül közel van egymáshoz, ezért különbözőségük kimutatása kivételesen nagy pontosságot igényelt. Végül is e század elején két egymástól független kísérletben, előbb a Fermilabban, majd a CERN-ben minden kétséget kizáróan kimutatták, hogy a CP-szimmetria a semleges kaonok bomlásában közvetlenül is megsérül. Ezzel végérvényesen az is eldőlt, hogy a szimmetria megsérülése nem lehet kizárólagosan egy új, szupergyenge kölcsönhatás következménye.

Az ISR

A 70-es évek elején a CERN egy unikális gyorsítót épített, az Intersecting Storage Ringset (ISR), ahol két nagy energiájú protonnyaláb egymással szembe ütközött. Ez a módszer az ütközések hasznos energiáját, ami új részecskék keletkezésére fordíthatott, a hagyományos módszerhez képest, ahol a felgyorsított részecskenyaláb álló céltárgynak ütközik, egy igen jelentős faktoralal álló céltárgynak ütközik, az ISR felfedezése az volt, hogy a proton-proton ütközések teljes hatáskeresztmetszete az energia függvényében monoton növekedést mutat, az akkortájt népszerű elmélettel ellentétben, amely egy állandó, aszimptotikus értéket jósolt. 1973 és 1975 között, mint vendégkutató újra a CERN-ben dolgoztam, és választásom az ISR-re esett. Az aktuális kérdés ebben az időben a rugalmas proton-proton szórás hatáskeresztmetszetének energiafüggése volt. Erre a célra az egyik ütközési pont körül egy különleges spektrométert építettek. A mágneses teret úgy alakították ki, hogy az ne zavarja sem a bejövő, sem a távozó protonnyalábokat, viszont jó felbontást nyújtson az ütközésben keletkező minden kis szögben szóródó részecske impulzusának mérésére. Ezt a protonnyalábok síkjára merőleges két

¹ André Lagarrigue-nak később meghatározó szerepe volt a semleges gyenge áram kimutatásában. Korai halála miatt ezt a nagy felfedezést nem tudták Nobel-díjjal jutalmazni.

egymástól független és ellentétes irányú mágneses tér kialakításával lehetett elérni. Innen származik a berendezés neve: SFM, azaz Split Field Magnet (osztott terű mágneses tér). A spektrométer detektora a *George Charpak* által kifejlesztett, és később Nobel-díjjal jutalmazott sokszálas proporcionális kamrákból állt, amit maga Charpak és csoportja épített. A detektor valóban nagyszerű felbontást nyújtott a viszonylag kis merőleges impulzussal rendelkező, rugalmasan szóródott protonok detektálására és ezek hatáskeresztmetszetét sikerült is nagy pontossággal, közel 11 nagyságrendet átfogó tartományban meghatároznunk [3]. Eredményünket ma is idézik, mert elsőként mutatott rá a hatáskeresztmetszetben mutatkozó diffrakciós minimum és második diffrakciós maximum energiatülszabására, amiből fontos információ nyerhető a proton belső szerkezetére. Ekkor már ismert volt, hogy a protonokat kvarkok alkotják. Ezért azt vártuk, hogy itt is, mint az összetettebb atommagok rugalmas szórásában, több diffrakciós minimum és maximum követi majd egymást. Nem ez történt. Sem mi, sem ezután senki más nem mutatott ki egynél több minimumot és kettőnél több maximumot a nukleonok szórásában. Valószínűleg a kvarkok bezárásával van mindez összefüggésben, de a jelenséget a kvantum-szindinamika szám szerint ma még nem tudja leírni.

Az ISR beindulásakor egyébként nem törekedtek olyan berendezést építeni, ami jó hatásokkal detektált volna nagy merőleges impulzussal rendelkező töltött részecskéket is. Úgy gondolták, hogy ilyen részecskék még a leptonok mélyen rugalmatlan szóródásában is csak nagy ritkán fordulnak elő, és nem érdemes velük foglalkozni. Ez a felfogás 1974-ben gyökeresen megváltozott az „új fizika” felfedezésével.

Az „új fizika”

Jean Iliopoulos, az úgynevezett Glashow–Iliopoulos–Maiani (GIM) mechanizmus társfelfedezője fogadás-ként egy egész láda nemes bort ajánlott fel 1974 júliusában a londoni Rochester-konferencián tartott előadásában arra az esetre, hogyha egy negyedik kvarkot, amelyet charm kvarknak neveztek, a következő Rochester-konferenciáig, tehát legkésőbb két éven belül, nem találnának meg. *Willibald Jentschke*, a CERN akkori főigazgatója ezt olyan komolyan vette, hogy a konferenciát követően elrendelt egy ötletdelutánt (brain stormingot), amelyen a legjobb kísérleti fizikusoknak el kellett mondani, hogyan képzelik el a charm kvark kimutatását a CERN-ben. Nem emlékszem, hogy bárki is mondott volna ott valami egészen újat a londoni konferencián már előadott lehetőségekhez képest, bár igen szép föliákon igyekeztek ezeket újra bemutatni. Mindaddig, amíg hozzászólásként egy halk szavú ember ki nem ment a táblához. Látszott rajta, hogy amit mond, ott találta ki. Körülbelül azt mondta, hogy ha szerencsénk lesz, akkor a charm kvarkot nem lehet majd megtalálni. Arra hivatkozott, hogy a jól ismert ϕ részecske egy strange (magyarra fordítva ritka)

és egy anti-strange ($s\bar{s}$) kvarkpár kötött állapota, és valami különös oknál fogva csak ritka mezon párra tud bomlani, vagyis olyanra, ahol mindkét mezon tartalmazza az s kvarkot. A legkisebb tömegű ritka mezon a töltött K mezon, és mivel két K mezon össztömege csak alig valamivel kevesebb, mint a ϕ mezon tömege, a rendelkezésre álló kis fázistér miatt a bomlás igen lassú, következésképpen a ϕ természetes szélessége nagyon kicsi és így kiemelkedik a háttérből. Mindezt a charm kvarkra lefordítva, amennyiben létezik olyan mezon, amely charm-anticharm kvarkpár kötött állapota, és amelynek tömege összemérhető, vagy esetleg még kisebb is mint a legkönnyebb és egyetlen charm kvarkot tartalmazó részecske tömegének kétszerese, úgy találnunk kell majd egy nagyon kis szélességű rezonanciát, amely a háttérből úgy kiemelkedik, hogy egyszerűen nem lehet eltéveszteni. Emlékeztetem szerint, a halkszavú fizikus *Nicola Cabibbo* volt. Visszatekintve, ez a hozzászólás az egyik legdrámaibb esemény volt, amelynek egész pályafutásom során tanúja lehettem. Elsősorban azért, mert ott a teremben senkinek sem volt fogalma arról, hogy ezt a részecskét már néhány hete, augusztus végén felfedezték: proton-proton ütközésben 3,1 GeV tömeggel egy rendkívül éles, e^+e^- párra bomló rezonanciát észleltek, gyakorlatilag minden háttér nélkül, amelynek szélessége jóval kisebb volt a berendezés amúgy kitűnő felbontásánál. Másrészt pedig azért, mert akik ezt a mezont felfedezték, *Samuel Ting* és csoportja Brookhavenben sem tudták még akkor, hogy a charm kvarkot találták meg. Ting, aki rendkívül óvatos ember, meg akart bizonyosodni arról, hogy amit találtak, nem egy triviális kísérleti hiba következménye. Valószínűnek tartom azonban, hogyha tudott volna Cabibbo elképzeléséről, még a nyár végén publikálja a felfedezést és nem foglalkozott volna azzal, hogy a rezonanciacsúcs létezését különböző és igen részletes ellenőrzésnek vesse alá. Eközben Stanfordban is észlelték a rezonanciát, mert a SPEAR tárológyűrűn kimutatták, hogy az e^+e^- ütközés hatáskeresztmetszete pontosan a 3,1 GeV energia egészen kis környezetében hirtelen felugrik majd visszaesik. A felfedezést egyidőben jelentették be novemberben, az új részecskét Ting J -nek keresztelte el, míg a stanfordi csoport vezetője, *Burton Richter*, a Ψ nevet adta neki. A bejelentésnek olyan hatása volt, hogy az eseményt „novemberi forradalomnak” nevezik még ma is és Ting, valamint Richter már 1976-ban Nobel-díjban részesült. A felfedezés azért volt forradalmi, mert a charm kvark tette teljessé az elemi részecskék új, két lepton- és kvarkcsaládra épült elméletét, ami a Standard Modell első változata lett, és amit lényegében Iliopoulos a londoni konferencián megelőlegezett. A nagy transzverzális impulzussal rendelkező leptonok, elektronok és müonok, bár igen ritkán keletkeznek, ennek az „új fizikának” lettek a hírnökei.

Mondanom sem kell, hogy napokon belül mi is új kísérletet kezdtünk az ISR-en. Az SFM spektrométer egyik karjában ólomtéglákat helyeztünk el, hogy az ütközésnél kilépő müonokat azonosítsuk. Ezután az ellenkező töltésű müonpárok tömegeloszlását vizsgál-

tuk, az azonos töltésű párok segítségével pedig a háttérrel határoztuk meg. És valóban, 3,1 GeV tömegnél mi is megtaláltuk a rezonanciacsúcsot [4], bár nem olyan éleset, mint amit Brookhavenben észleltek először, ugyanis az ólomban a müonok sokszoros elektromágneses szórás szenvednek. Ha nem alkalmaztunk volna ólomtégglákat, a csúcs sokkal markánsabban jelent volna meg, mert a háttér ilyen nagy merőleges impulzusnál igen csekély, azonban nem tudtuk volna bizonyítani, hogy a rezonancia leptonpárra bomlik. Eredményünk biztosan csalódást okozott Jentschkének, mert bebizonyosodott, hogy az „új fizikát” a CERN-ben, az ISR-en már sokkal előbb fel lehetett volna fedezni, ha a berendezéseket nem a kis merőleges impulzusú részecskék detektálására optimalizálták volna. Ezután természetesen mindenki lázasan a nagy merőleges impulzusú részecskék kutatására tért rá. Emlékszem, hogy a CERN kiváló mérnökei hamarosan egy tervet is benyújtottak abból a célból, hogy az SFM spektrométert 90°-kal elfordítsák. Szerencsére – még mielőtt megvalósították volna – mások rájöttek, hogy sokkal jobb módszer, ha az ütköző nyalábokkal párhuzamos, vagy azokat körbeölelő mágneses teret hoznak létre. Ezeket alkalmazzák ma is.

A Higgs nyomában

A CERN történetében az egyik legkiemelkedőbb esemény a gyenge kölcsönhatás W és Z közvetítő bozonjainak a kimutatása volt. A két fizikus, akiknek ez elsősorban köszönhető, *Carlo Rubbia* és *Simon van der Meer*; már egy éven belül megkapta a Nobel-díjat. A fermioncsaládokra épülő Standard Modell így szilárd alapokat nyert. Csak két részecske kimutatása maradt hátra, a harmadik család felső tagja, a top kvark (t), valamint a Higgs-bozon, amely a részecskék tömegeinek generálásában játszik fontos szerepet. Kimutatásuk volt tehát a soron következő feladat, no meg annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy hány részecskecsalád létezik. E célból a CERN-ben felépítették és 1988-ban sikeresen üzembe is helyezték a LEP (Large Electron Positron) elektron-positron tároló gyűrűt, amely első lépésben a Z bozon részletes tanulmányozására szolgált. Energiáját néhány év múlva megduplázták a W bozonok fizikájának felderítésére. A Samuel Ting által vezetett L3 együttműködésben már a kísérlet előkészítésétől kezdve részt vettünk önálló magyar kutató csoportként. Megjegyzem, hogy a kísérlet még az előtt indult el, hogy Magyarország a CERN tagállamává vált volna, ezért munkánk a maihoz képest kevésbé kedvező körülmények között folyt. Ami a részecskecsaládok számát illeti, erre a kérdésre alig néhány héten belül választ tudtunk adni: a LEP energiatartományában ez a szám három. Azóta az energiatartományt sokszorosára növelték, de ez a szám nem változott. A top kvark létezésére azonban a LEP csak közvetve tudott válaszolni: a top kvark tömege valószínűleg 160 és 190 GeV között lehet, amely olyan nagy, hogy lehetetlen kimutat-

ni a LEP-en, ahol csak párban keletkezhetnek. A top kvarkot végül is 1995-ben a Fermilab proton-antiproton tároló gyűrűjén, a Tevatronon mutatták ki. A LEP-en a Higgs-részecskét sem sikerült megtalálni, bár nagyon közel jártunk hozzá. Közvetett módon a LEP-mérések arra utaltak, hogy tömege valószínűleg 150 GeV alatt van, de a LEP maximális energiája mellett is csak alsó tömeghatárt lehetett megállapítani, amire 114,5 GeV adódott.

A CERN ahelyett, hogy megpróbálta volna a LEP energiáját tovább növelni, amelyet nagy mértékben korlátozott az elektronok szinkrotronsugárzása, azt javasolta, hogy egy proton-proton ütköztetőt helyezzenek el a LEP alagútjába. A tervezett 14 TeV ütközési energia elegendőnek bizonyult a Higgs-részecske kimutatására vagy kizárására egészen 1 TeV tömegig. Az LHC-nak (Large Hadron Collider) nevezett tároló gyűrű igazolásaként az úgynevezett „no-loose theorem”-mel érveltek, vagyis az LHC-val nem lehet veszíteni, mert vagy megtalálják a Higgs-bozont vagy ha nem, akkor egészen biztosan fognak találni olyan kísérleti bizonyítékokat, amely szerint a Standard Modell nem helyes. Főként ez utóbbi eshetőség tűnt vonzónak, mert bár a Standard Modell eddig egyetlen kísérleti megfigyeléssel sem került ellentmondásba, elméleti szempontból mégsem alkalmas az anyag szerkezetének egységes és végleges leírására. Több éven keresztül magam is résztvettem az LHC-ra tervezett különböző detektortípusok, úgynevezett kaloriméterek kutató-fejlesztésében, majd az ATLAS együttműködésben azok építésében, illetve a szükséges rekonstrukciós programok optimalizációjában. Ezek között kiemelt fontosságot kapott az úgynevezett pre-shower detektor megtervezése, amely jelentős szerepet játszik a Higgs-bozon két fotonra történő bomlásának detektálásánál. Az LHC felépítése és üzembe állítása azonban csaknem húsz évet vett igénybe. A fő gond az volt, hogy eredetileg tíz évnél rövidebb időre tervezték felépítését, és a határidők állandó kitolódása, amelynek főként anyagi okai voltak, nagyfokú bizonytalansági érzést táplált az egész programmal kapcsolatban. Így sokan, elsősorban a magamfajta idősebb kutatók, a Tevatronhoz pártoltak, ahol a Higgs-bozon megtalálásának ugyan kisebb, bár számottevő valószínűsége volt, de ami már 2002-ben 2 TeV energiára feljavítva újra elindult. Valóban, 2011-ig a Higgs-kutatásokat a Tevatron dominálta. A Higgs-bozon kimutatása végül is valószínűleg az LHC-nek sikerült. 2012. július 4-én az LHC-n működő két kísérlet, az ATLAS és a CMS bejelentette, hogy 125 GeV körüli tömeggel egy olyan rezonanciacsúcsot észleltek, ahol ötszörös hibahatárral kizárható, hogy ez véletlen fluktuáció lenne. Minden elismerésem az LHC sikerében osztozó magyar kollégáimnak! A Tevatront időközben, anyagi nehézségekre hivatkozva leállították. Nekünk, akik ott dolgoztunk, az az elégtételünk azonban megmaradt, hogy az LHC eredményét más szemszögből alátámasztjuk. Ezzel egyidőben ugyanis mi is találtunk a várt háttér felett egy 125 GeV tömegű részecskével magyarázható eseménytöbble-



1. *ábra.* Carlo Rubbiával, Telbisz Ferencel (háttal) és Király Péterrel (részben takarva) a CERN megalakulásának 50-ik évfordulójára rendezett megemlékezés megnyitása előtt. Carlo tréfásan megjegyezte, hogy szeretett volna fiatalokkal is találkozni, de megnyugtattuk, hogy a fiatalok azért nincsenek itt, mert dolgozva ünnepelnek. (N. Balogh Anikó felvétele.)

tet, bár csak háromszoros hibahatárral, viszont egy úgynevezett bottom és anti-bottom ($b\bar{b}$) kvarkpárt tartalmazó végállapotban, amely valószínűsíti, hogy az LHC-n kimutatott részecske valóban a csaknem 50 éve megjósolt Higgs-bozon lehet [5].

Együttműködés a CERN-nel

A CERN-ben végzett kutatásaimat számos esetben igyekeztem egy hazai kutató csoport segítségével Budapesten, a KFKI-ban folytatni. Ehhez a CERN társlaboratóriumai révén mindig minden segítséget megadott. A K_S analízist valamint az L3 együttműködést fent már röviden említettem. Az ISR-en folytatott kísérletek révén szoros kapcsolatba kerültem a *Marcel Vivargent* által megalapított Annecy-i részecskefizikai laboratóriummal (LAPP), amely lehetővé tette, hogy egy magyar csoport részt vehessen a LAPP-hoz kapcsolódva a müonok mélyen rugalmatlan szórásának vizsgálatára létrehozott Európai Müon Együttműködésben. Minderről a *Fizikai Szemle* hasábjain már részletesen beszámoltunk [6]. Az a megtiszteltetés ért, hogy erről előadást is tarthattam a Magyar Tudományos Akadémia emlékülésén, amelyet a CERN fennállásának 50-ik évfordulójának alkalmából rendeztek (1. *ábra*). A továbbiakban csak néhány fontos és általános mozzanatot emelnék ki. A CERN minden kutatási témáját neves szakértőkből álló bizottságokkal engedélyezteteti, tehát egy ilyen együttműködésben való részvétel eleve biztosította a téma magas tudományos színvonalát. Másrészt az együttműködésben résztvevő nagy létszámú tudós-gárda és közöttük több világhírű kutató jelenléte hatalmas lehetőséget nyújt elsősorban fiatal pályakezdő kollégáknak, hogy egyéni teljesítményük megfelelő nyilvánosságot kapjon. Ma például az LHC bármelyik kísérletének össztalálkozóján annyi kutató vesz részt, hogy annak plenáris ülésén fellépni legalább olyan kitüntető szerep, mint egy na-

gyobb konferencián tartott előadás. Ezek az előnyök nagy mértékben ellensúlyozták a rendszerváltás előtt fennálló részben politikai, részben pénzügyi (valutáris) nehézségeket. Minthogy 1992-től Magyarország a CERN teljes jogú tagállama, ma már a fenti nehézségek is eltűntek.

A CERN fennállásának kezdetétől fogva vallotta és számos példával alátámasztotta, hogy a tudományban politikai hovatartozástól függetlenül is együtt lehet működni, mert a tudományban a nyelv közös. Erre az egyik legjobb példa, hogy a CERN bábáskodásával és annak mintájára alapították meg 2004-ben a „Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East” (SESAME) kutató központot Jordániában, amelynek tagállamai között egyaránt megtalálható Izrael és Irán. Az intézmény a mai napig élvezzi a CERN támogatását. Irányítója a CERN Councilhoz hasonlóan a SESAME Council, amelynek első és alapító elnöke *Herwig Schopper*, a CERN egyik korábbi főigazgatója volt. Jelenleg *Christopher Llewellyn Smith*, a CERN egy másik volt főigazgatója tölti be ezt a tisztelet (2. *ábra*). A SESAME laboratórium szinkrotronja 2015-ben kezdi el működését. A társországok kutatói és egyetemi hallgatói közösen fogják használni és a kapott adatokat, akár csak a CERN esetében, a tagállamok intézeteiben és azok szoros együttműködésével fogják feldolgozni. A CERN ezzel nagyszerű példát mutatott arra, hogyan lehet békés együttműködést kialakítani a világnak még ebben a súlyos politikai problémákkal terhelt részében is. A CERN remélhetőleg még sok éven át ad kimagasló tudományos felfedezéseket az emberiségnek, és segíti elő az emberek közötti megértést és együttműködést.

Irodalom

1. I. A. Budagov és mtársai, *Phys. Rev. D2* (1970) 815.
2. E. Nagy, F. Telbisz, G. Vesztergombi, *Nucl. Phys. B47* (1972) 94.
3. E. Nagy és mtársai, *Nucl. Phys. B150* (1979) 221.
4. E. Nagy és mtársai, *Physics Letters 60B* (1975) 96.
5. T. Aaltonen és mtársai, *Phys. Rev. Lett. 109* (2012) 071804.
6. Nagy Elemér, Tóth József, Urbán László: Magyar részvétel az Európai Müon- és az L3-együttműködésben. *Fizikai Szemle 53/10* (2003) 352.

2. *ábra.* Herwig Schopper, a SESAME Council első és alapító elnöke (középen), Christopher Llewellyn Smith, a jelenlegi elnök (bal oldalt) és Rolf Heuer, a CERN jelenlegi főigazgatója, aki a 2012. évi SESAME Council házigazdája volt a CERN-ben. (CERN archívum.)

