

FENYVESI ANDRÁS–LOVAS REZSŐ

Az Európai Fizikai Társulat első magyarországi emlékhelye

A debreceni neutrínókísérlet

Az Európai Fizikai Társulat (European Physical Society, EPS) a fizikai kutatások kiemelkedő jelentőségű tudománytörténeti emlékhelyévé (EPS történelmi emlékhely) nyilvánította az MTA Atommagkutató Intézet (MTA Atomki, Debrecen) főépületét. Az ezt tanúsító emléktáblát maga John Dudley, az Európai Fizikai Társulat elnöke leplezte le az Atomki Bem téri bejáratának előkertjében 2013. október 25-én.

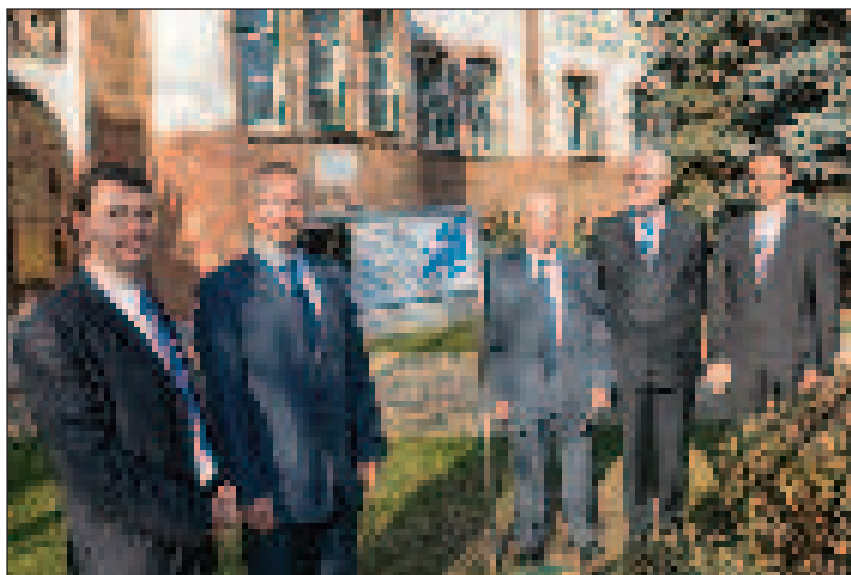
A tábla magyar és angol nyelven röviden ismerteti azt az 1956-ös végzett és világhírűvé vált kísérletet, melynek során az Atomki alapítója, Szalay Sándor és akkori doktorandusza (vagyis az egyetemi doktori cím, közismertebb nevén a „kisdoktori” cím megszerzése érdekében dolgozó fiatal kutatójelöltje) Csikai Gyula elsőként kapott igazán meggyőző fotografikus bizonyítékot a neutrínók létezésére. Ezzel elsőként erősítették meg Clyde L. Cowan, Frederick Reines és társaik néhány hónappal korábban, 1956. július 20-án publikált eredményeit a Wolfgang Pauli által még 1930-ban megjósolt neutrínók létezésének kísérleti bizonyításáról.

A tábla bal oldalán a neutrínó visszalökő hatását egyértelműen bizonyító híres fényképfelvételek legszebbike látható, amely mára fizikatörténeti jelentőségűvé vált. A tábla jobb oldalán az EPS tagállamait mutató térkép és az EPS emblémája látható.

Miért nagy jelentőségű az EPS történelmi emlékhely cím? Miért tartotta Szalay Sándor fontosnak a kísérlet elvégzését? Hogyan sikerült az 1950-es évek szerény kutatási feltételei mellett is világraszóló tudományos eredményt elérni Debrecenben?

EPS történelmi emlékhelyek Európában

A 42 ország fizikai társulatát magában foglaló és mintegy 130 ezer fizikust képviselő Európai Fizikai Társulat nemrég úgy döntött, hogy EPS történelmi emlékhelynek nyilvánítja és emléktáblával jelöli meg azokat az európai helyeket, ahol a fizika fejlődése szempontjából jelentős esemény történt. A jól láthatóan elhelyezett táblák rövid magyarázó szövege tudatja az arra



Az MTA Atomki I. számú épületének előkertjében felavatott tábla.

A tábla mellett álló személyek balról jobbra haladva: John Dudley (az EPS elnöke), Fülöp Zsolt (az MTA Atomki igazgatója), Csikai Gyula (emeritus professzor), Pálinkás József (az MTA elnöke), Papp László (Debrecen alpolgármestere) (Nagy Gábor felvétele)

járókkal, hogy a természettudományos világképünk megalapozása szempontjából fontos felfedezés helyszínén tartózkodnak.

Az MTA Atomki főépülete Európában a tizedik, Magyarországon pedig az első EPS történelmi emlékhely. A kivitűntető cím rangját jól mutatja, hogy kikhez köthető a többi helyszín.

EPS történelmi emlékhely lett például a XVI. század híres csillagásza, Tycho Brahe (1546–1601) egykori obszervatóriuma a svédországi Hven szigeten.

2013. május 17-től EPS történelmi emlékhely az olaszországi Firenze melletti Arcetriben levő domb híres épületgyüttese is. 1631 és 1642 között ezen a helyen élt Galileo Galilei és dolgozott a *Matematikai értekezések két új tudományról* című könyvén, melyben a testek anyagi szerkezetéről és töréssel szembeni ellenállásáról, a mozgásról, a folytonosságról, valamint a végtelenről szóló tanait foglalja össze. 1926-ban pedig Enrico Fermi is ezen a helyen írta azt a munkáját, amelyben a ma Fermi–Dirac-statisztika nevet viselő eloszlást ismertette.

2013. október 11-én lett EPS történelmi emlékhely a lengyelországi Kamień Pomorski. 1745. október 11-én ebben a városban jött rá Ewald Georg von Kleist arra, hogyan lehet tárolni elektromos töltéseket hosszú ideig. Az ún. Kleist-palack volt az ember alkotta első elektromos kondenzátor. Tőle függetlenül a leideni Pieter van Musschenbroek szintén felfedezte ezt az eszközt, így leideni palack néven vált ismertté.

A franciaországi Chamonix közelében 3613 m tengerszint feletti magasságban az Alpok gleccserei között is van EPS történelmi emlékhely! 2013. július 22-én ott helyezték el a táblát, ahol 1943-ban a francia Országos Kutatási Tanács (CNRS) megalapította a Laboratoire des Cosmiques laboratóriumot a kozmikus sugárzás kutatása céljára. A Mont Blanc-masszívum Aiguille du Midi hegyén álló laboratóriumot 1946-ban avatták fel és 1955-ig működött. A részecskéket Wilson-féle ködkamrával detektálták. A nagyenergiájú töltött részecskéket erős mágneses mezővel eltérítették, és a nyomuk görbültéből határozták meg a mozgási energiájukat. A labora-

tórium helyén ma a találó nevű Refuge des Cosmiques (Kozmikus Menedékhely) áll. Az EPS történelmi emlékhelyet jelző táblát abból az alkalomból avatták fel, hogy 100 évvel korábban, 1912-ben Viktor Hess bebizonyította, hogy a természetes eredetű sugárzási háttér egy része a világról érkezik (kozmosz sugárzás).

2013. február 22-én az oroszországi Dubnában működő Egyesített Atommagkutató Intézetben is avattak táblát. Az esemény ke-



A tudománytörténeti jelentőségűvé vált 1956-os debreceni neutrínókísérlet helyszínét jelölő tábla

retében emlékeztek meg az egykor ott alkotó neutrínókutató, Bruno Pontecorvo születésének századik évfordulójáról.

A debreceni neutrínókísérlet előzményei

1896-ban fedezte fel Antoine Henri Becquerel az urán radioaktivitását. 1897-ben Pierre és Marie Curie, valamint Ernest Rutherford már tudta, hogy a radioaktív anyagok által kibocsátott sugárzás két komponense ellentétes irányban térül el mágneses mezőben. 1900-ban Becquerel bebizonyította, hogy a β -sugárzásnak elnevezett hosszabb hatótávolságú sugárzás valójában elektronokból áll. 1901-ben Rutherford és Frederick Soddy azt is bebizonyította, hogy a β -sugárzással járó átalakulás (β -bomlás) során egy kémiai elem atomja átalakul egy másik kémiai elem atomjává. (Azt még nem tudhatták, hogy ez atommag-átalakulás, hiszen még nem ismerték az atom összetételét!)

1907-ben Joseph Solange Henri Pellat, 1908-ban pedig Jules Henri Poincaré is felvetette már az atommag létezését. 1911-re a Rutherford irányítása mellett Hans Geiger és Ernest Marsden által végzett szórás-kísérletek be is bizonyították, hogy valóban létezik az atommag. Rutherford atommodellje azonban nem adott érdemi magyarázatot a β -sugárzás eredetére, így a kutatások a β -sugárzás energiaeloszlásának vizsgálatára irányában folytak tovább. Lise Meitner, Otto Hahn, Heinrich Schmidt, Otto von Baeyer, William Wilson és Ernest Rutherford számos kísérletet végzett, és vita bontakozott ki arról, hogy a β -sugárzás elektronjainak ener-

gia szerinti eloszlása (β -spektrum) folytonos, vagy vonalakból áll-e. James Chadwick volt az első, aki kimért egy teljes β -spektrumot. Az 1914-ben közölt β -spektrum a $0-E_{\beta, \max}$ energiatarományt lefedő folytonos eloszlás. A meglepő eredmény értelmezése nehéz feladatnak bizonyult.

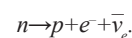
Az 1920-as évek végén, a kvantummechanika megszületését követően világossá vált, hogy továbbra sem tudják leírni a β -bomlást a fizika addig ismert módszerei-

energiamegmaradás elvét is. Ma könnyű ezen mosolyogni, de akkoriban az atommagról alkotott ismereteket nehéz volt rendszerbe szedni, így ezt a hajmeresztő ötletet több megértéssel kell fogadnunk. 1930-ban még nem ismerték a neutront, és az atommag akkor vélt összetétele is szörnyű kételyeket vetett föl. Tudták, hogy protonnak lennie kell a magban, de azt is tudták, hogy lennie kell másnak is, mert ha egy mag csupa protonból állna, akkor töltése nagyobb volna, mint amit mérnek, kivéve a hidrogén-atommag (a proton) esetét. Ezért úgy képzelték, hogy a protonok töltését részben elektronok semlegesítik, és a β -bomlás során egy ilyen elektron távozik. Csakhogy a magok perdületének értéke ellentmond ennek a feltételezésnek is!

Az is nehéz kérdés volt, hogy miféle erő tartja az elektronokat a piciny magban. Az atomhéjak elektronpályái négy-öt nagyságrenddel nagyobbak, és az atomok mérete éppen annak a tartománynak az alsó határa, ami a határozatlansági relációkkal kompatibilis, ha csak a Coulomb-erő hat. Csak egy sokkal erősebb vonzás lehet képes az elektronokat az atommagok kis térfogatába szorítani. Az efféle rejtélyek miatt még abban is kételkedni lehetett, hogy az atommagokra érvényes-e egyáltalán a kvantummechanika.

A gordiuszi csomót Wolfgang Pauli vágta át 1930-ban. Pauli sejtése szerint a hiányzó energiát egy nem detektált részecske viszi el, amelyet később neutrínónak (pontosabban elektron-antineutrínónak) neveztek el.

Pauli szerint a β -bomlás során a végmag és az elektron mellett keletkezik még egy elektromosan semleges feles spinű (saját perdületű) részecske is, amelynek a kölcsönhatása minden más anyaggal rendkívül gyenge, s ezért nem észlelik a detektorok. A hiányzó energiát minden egyes bomlási eseményben ez a részecske viszi magával (**lásd az ábrát**), így nem vesz el energia, csak éppen a hordozóját nem sikerül észlelni. A bomlásban keletkező két feles spinű részecske perdületének összege csak egész lehet, s ez feloldja a perdület rejtélyét is. Igaz, megmarad a kérdés: honnan, miből keletkeznek a β -bomlásban kibocsátott részecskék? Erre a választ csak 1932 óta sejtethetjük, amikor Chadwick felfedezte a neutront. Nyilvánvalóvá vált, hogy a mag protonokból és neutronokból áll, és nem kellett többé feltételezni, hogy elektron is van benne. Ezzel a magok perdületének a problémája is megoldódik. Azt kell tehát feltételezni, hogy a β -bomlás során egy neutron átalakulása következik be:



Ez már Fermi β -bomlási elméletének a kiindulópontja. A protonnal és az elektronnal együtt keletkező „lappangó” részecskét Fermi neutrínónak keresztelte el. Ma már tudjuk, hogy az itt keletkező részecs-

vel. Azt várták, hogy a bomlás során kibocsátott elektronok energiája egyenlő az elbomló atommag és a végmag energiaállapotának különbségével. A kísérletek azonban minden esetben továbbra is azt mutatták, hogy nem ez a helyzet, hanem egy adott mag adott állapotának bomlásakor az elektron energiája 0 és a két magnívó különbsége között bármekkora lehet, és jellegzetes eloszlású. A β -bomlási eseményekben eltűnni látszik az energia egy része!

Ráadásul nemcsak az energia, hanem a perdület (impulzusmomentum) megmaradása is sérülni látszott. (A perdület megváltozását a kezdő- és a végállapot perdületének vektori különbsége adja meg.)

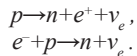
A perdületet a $\hbar = h/2\pi$ redukált Planck-állandó egységeiben (Dirac-állandó) szokás megadni. (A kvantummechanikai leírás során a $\hbar = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js Planck-állandó használata szokásos, a számértéke megegyezik a $\nu = 1$ Hz frekvenciájú foton E energiájának számértékével az $E = h\nu$ összefüggés szerint.)

A β -bomlás tanulmányozása során azt találták, hogy a távozó elektron \hbar egységben mérve csak félegész számú, vagyis $1/2$, $3/2$, $5/2$ stb. impulzusmomentumot tud elvinni, amiből az következne, hogy ennyi a kezdeti és a végmag perdületének (vektori) különbsége. Másfelől a tapasztalat azt mutatta, hogy a magperdület egészéből csak egészbe, félegészből pedig csak félegészbe mehet át, tehát a különbségük mindig egész. Ily módon az atommagok és az elektronok perdületére kapott tények ellentmondtak egymásnak, vagyis valami történt a perdülettel is a β -bomlás során!

A fizikusok zavarba jöttek. Niels Bohr például hajlamos volt feladni még az

ke a neutrínók családjába tartozó elektron-antineutrínó, $\bar{\nu}_e$, de az egyszerűség kedvéért a fizikusok ma is gyakran csak neutrínónak nevezik.

1930-ban Dirac publikálta az elméletét az elektron antirészecskéjéről, a pozitronról. Az 1930–34 között Fermi és Pauli által kidolgozott elmélet már figyelembe vette az antirészecskék létezésének lehetőségét is, és további β -bomlási folyamatokat is lehetségesnek tartott:



Az utóbbi folyamat során az atommag egyik protonja az atom elektronfelhőjének egyik elektronját fogja be (tipikusan a K-héjról). Fermi tehát feltételezte, hogy a neutrínó nem önmaga antirészecskéje. Fermi azt is feltételezte, hogy létezik egy nulla hatótávú „gyenge kölcsönhatás”, amely a magerók, az elektromágneses kölcsönhatás és a gravitáció mellett a negyedik elemi kölcsönhatás. Ma már tudjuk, hogy a gyenge kölcsönhatás hatótávolsága valójában nem nulla, csak nagyon kicsi, a gyenge kölcsönhatást közvetítő mező mindenütt jelen van, ennek ellenére csaknem kizárólag az általa okozott elemi átmenetek révén véteti észre magát, amelyek egyike a β -bomlás.

Ma már az is világos, hogy a β -bomlás az első felismert igazi részecskeátalakulás, ezért a természetének felismerését a részecskefizika kezdetének szokás tekinteni. A részecskefizika fejlődésnek indult, de a β -bomlási folyamat elmélete továbbra is „a levegőben lógott”. A neutrínó léte is csak hipotézis maradt mindaddig, amíg nem volt más bizonyíték, mint a β -bomlás során észlelt energiahiány és a perdületmegmaradás sérülése.

A neutrínók csak gyenge kölcsönhatásra képesek, ezért sokáig lehetetlennek látszott detektálni őket. 1936-ban Alexander I. Leipunski az angliai Cambridge-ben található Cavendish Laboratóriumban végezte el az első olyan kísérletet, amelyben a β -bomlás során kibocsátott neutrínó atommag-visszalökő hatásának kimutatása volt a cél, de az eredmények nem voltak elegendően pontosak.

1937-ben Horace Richard Crane és Jules Halpern az USA-beli Michigani Egyetemén a



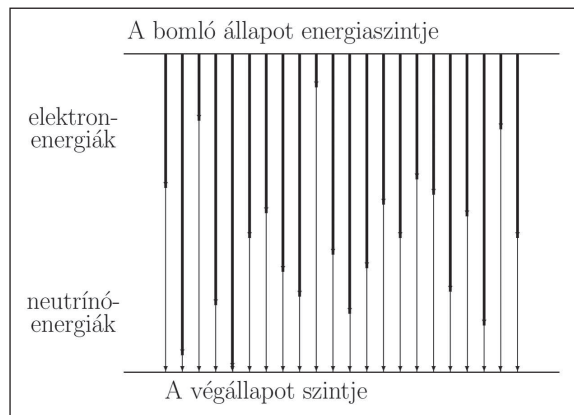
β^- -bomlást tanulmányozták egy sztereo-fényképezővel ellátott expanziós ködkamrával. A bomlás során keletkező elektronok energiáját a nyomuk görbületének mérésével, a meglökött ^{38}Ar atommagok energiáját pedig az általuk keltett

ionokra kondenzálódó cseppecskék megszámlálásával határozták meg. Az energiák alapján meghatározták a két bomlástermék lendületét is, és azt találták, hogy az elektron és az ^{38}Ar által elvitt lendület szignifikánsan nagyobb volt, mint amit csupán az elektron és az ^{38}Ar keletkezésével magyarázni lehetett. Ebből arra következtettek, hogy a neutrínó meglökő hatása felelhet az elektron és az ^{38}Ar atommag többlet lendületéért. Crane és Halpern eredményeit azonban sokan nem találták elég meggyőzőnek akkoriban. Crane és Halpern meg is említette a cikkük végén, hogy a neutrínó visszalökő hatásának kimutatására a ^6He izotóp β -bomlásának megfigyelése sokkal célszerűbb lenne, de ahhoz meg kellene oldani a rövid felezési idejű ($T_{1/2} = 806.7$ ms) ^6He izotóp előállí-

ban készült ilyen eszközt. Végül úgy döntöttek, hogy építenek egy új ködkamrát.

Az elkészült expanziós ködkamra évekig a kutatás, majd az egyetemi hallgatók képzését szolgálta. Jelenleg az MTA Atomki látogatóközpontjában van kiállítva.

A ködkamra egy 28 cm átmérőjű és 5 cm magas üvegfalú henger, aminek a fedőlapja üveg, az alja pedig alumínium koronggal merevített gumimembrán, amin fekete zselatinréteg van. A töltőgáz 200 Hgmm nyomású hidrogéngáz, amibe víz és etilalkohol 50%-os keverékének gőze áramlik. A gumimembrán hirtelen lefelé mozgásával a gáztér fogat 2 ms ideig tartó adiabatikus kitágulását lehetett előidézni, aminek az ideje alatt a gőz túltelítetté válik. A kamra térfogatában mozgó töltött részecskék által keltett ionokra mint kondenzációs magokra le-



A β -bomlás során kibocsátott β -részecske energiája (vastag nyilak) eseményről eseményre változik és rendszerint kisebb a magnívók energiájának különbségénél. Pauli feltételezése szerint a hiányzó energiát (vékony nyilak) egy nem detektált részecske viszi el, amelyet később neutrínónak (majd még később elektron-antineutrínónak) neveztek el

tását és azt, hogy a megfelelő időpillanatban jusson be a ködkamrába az expanzió megkezdése előtt. Ezt az ötletüket azonban nem valósították meg.

Az 1950-es évek elejéig senkinek sem sikerült igazán meggyőző bizonyítékot szolgáltatnia a neutrínók létezésére.

A debreceni kísérletek

A fentiek tükrében aligha meglepő, hogy a debreceni magfizikai iskola megalapítóját, Szalay Sándort is foglalkoztatták a neutrínó kimutatásának lehetőségei. A professzor 1951-ben javasolta Csikai Gyulának, aki akkor II. éves egyetemi hallgatóként externista volt a Kísérleti Fizikai Tanszéken, hogy tanulmányozza az expanziós ködkamrák elvi és technikai kérdéseit, és próbáljon meg üzembe helyezni egy koráb-

csapódó vízmolekulák révén 0,15 s ideig láthatóvá tehető a részecskék nyoma. Ezen időtartam alatt kell oldalról erős fényrel megvilágítani és felülről érzékeny filmre lefényképezni a nyomokat. A kamra felső részén levő vékony fémháló és az alsó fekete zselatinréteg közé 10^2 – 10^3 V egyenfeszültség kapcsolható, amivel folyamatosan el lehet távolítani az érzékeny térfogatóból az ionokat. Ezt az elektromos mezőt 0,01 s-mal az expanzió előtt kikapcsolják, ezért csak az expanzió ideje alatt keletkező ionok vannak jelen a kamrában a megfigyelés (a fényképezés) ideje alatt. A kamra fölött és alatt elektromos áram járta Helmholtz-tekercsek vannak. Az áram által indukált mágneses mező indukcióvonalai a kamra tengelyével párhuzamosak. A mágneses mező eltéríti a töltött részecskéket és így a nyomuk görbületi sugarából meg lehet határozni a sebességüket.

A neutrínó visszalökő hatásának kimutatását megcélzó debreceni kísérlet során a ^6He -izotóp előállítására a $^9\text{Be}(n,\alpha)^6\text{He}$ reakció útján történt $\text{Be}(\text{OH})_2$ port besugározása. A reakcióhoz szükséges neutronokat egy ^{210}Po -Be forrás szolgáltatja, amelyben ^{210}Po radioizotóp és berillium por keveréke volt. A ^{210}Po radioaktív bomlása során keletkező α -részecskék a ^9Be atommagokat bombázva neutronokat keltettek a $^9\text{Be}(\alpha,n)$ reakció révén.

A ködkamrába egy csésze lógott be, aminek a fala szűrőpapírból készült. A csészében finomszemcsés (1–2 μm) $\text{Be}(\text{OH})_2$ por volt. A ködkamra expanziójának megkez-

dése előtt a neutronforrást sűrített levegővel a porral teli csésze fölé lőtték, kb. 5 s-ig ott tartották, és a forrásból kilépő neutronokkal sugározták be a $\text{Be}(\text{OH})_2$ port, melyben ${}^6\text{He}$ -atommagok keletkeztek a ${}^9\text{Be}(n,\alpha){}^6\text{He}$ magreakció révén. A ködkamra expanziójának megkezdése előtt 0,3 másodperccel sűrített levegővel eltávolították a neutronforrást a kamra közeléből, és egy árnyékolt tartályba lőtték. A keletkező ${}^6\text{He}$ könnyen kijutott a $\text{Be}(\text{OH})_2$ porból, és átdiffundált a szűrőpapíron egy kis térfogatba, ahonnan egy gumizsák összenyomásával bepumpálták a ködkamrába. A ködkamrában elbomlottak a ${}^6\text{He}$ atommagok, és így le lehetett fényképezni a keletkező ${}^6\text{Li}$ atommag és az elektron nyomát. A mérési ciklus 45 másodpercenként ismétlődött. (A kísérlet további részleteiről a Fizikai Szemle 2005. évi 10. számában található cikk [1].)

Az 1950-es évek magyarországi lehetőségei mellett a sztereo-fényképezőgéppel ellátott ködkamra megépítése és üzemeltetése korántsem volt egyszerű feladat. Az alábbiakban a Csikai Gyula által írt sorokat idézzük.

„1953 tavaszán kezdődött a ködkamra építése a KLTE TTK Kísérleti Fizikai Tanszékén Szalay Sándor tanszékvezető professzor irányítása mellett. 1955 elején áttelepítették a berendezést az Atomki főépületének alagsorába. Akkor még Szalay Sándor volt mindkét intézménynek a vezetője. (A „perszonálunió” 1967-ig állt fenn, amikor Csikai Gyula vette át a Kísérleti Fizikai Tanszék vezetését.)

A kamra terének homogén megvilágítására Szajher János üvegtechnikus bevonásával 30 cm hosszú xenon töltésű villanó lámpák kifejlesztésére került sor a Prof által ajánlott pontforrás kondenzor helyett. Ilyen eszközt beszerezni akkor nem lehetett, de mindkettőt kifejlesztettük és demonstráltuk a Profnak az üvegtechnikai műhelyben (a Kís. Fiz. alagsorában, a neutrongenerátor jelenlegi vezénnyeljében). Szűrőpapírra a padlóra tettük őket és 2000 V-os, 50 μF -os kondenzátort töltöttünk fel. Előbb a kicsit villantottuk (a Prof szerint nem rossz), majd jött a vonalalaku. Megkértük a Profot, hogy hajoljon közelebb, hogy jobban lássa a különbséget. Villantottunk. A Prof egy percig csak pislogott, majd annyit mondott „fiúk ennek prémiumszaga van”.

De honnan veszünk hengerlencse kondenzort, kérdezte? Schadek János, az Atomki mérnöke már tervezi a plexi megmunkálását és párhuzamosan a sztereo-fényképezőgépet is. A Profnak köszönhető, hogy kaptunk xenon gázt a miskolci műtrágyagyártól. De hálásak voltunk Veres Zoltánnak, a berekfürdői egykori üvegyárat megalapító mérnöknek is, aki a nagy teljesítményű álló C9 üveget hobbiból kifejleszt-

tette, csakúgy, mint Sávelli Kamilló újpesti iparosnak az alumíniumdugattyú gumírozásáért. Ezek a fejlesztések legalább egy évet vettek igénybe, és késleltették a kamra elkészítését. (Az első közleményem 1955-ben jelent meg a villanólámpákról, a Prof kérésére a vonal-villanólámpát nem is publikáltam, azt szabadalmaztatni akarta, de a neutrínókísérlet fontosabb volt.)

Szintén az Atomki segítségével épült meg az új helyen a Po-Be forrást szállító csőpota, míg a kamra automatikus vezérlésének megoldása közös feladat volt (Bistey Balázs).

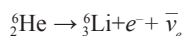
A ködkamra végleges üzembe helyezése, a ${}^6\text{He}$ gáz termelése és a kamra terébe juttatása az érzékeny idő alatt valamint a bomlások sztereofényképezése 1955 végére állt össze.

Így már a neutrínó észlelése lehetett koncentrálni.

A ködkamra építésében Hrehuss Gyula, az ELTE korábbi hallgatója, majd az Atomki munkatársa igen sikeres szerepet játszott.”

1956-ban forradalom volt a fizikában is

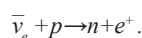
1956 őszére a debreceni erőfeszítések és a szellemes technikai megoldások végül eredményre vezettek. Sikerült olyan felvételeket készíteni, amelyeken jól látható, hogy a



folyamat során keletkező ${}^6\text{Li}$ és az elektron nyomai általában nem esnek egyenesbe, tehát a lendületeik összege nem lehet nulla. Azonban az elbomló ${}^6\text{He}$ mag lendülete (a hőmozgás okozta kicsiny értéktől eltekintve) nulla, ezért ha igaz a lendületmegmaradás törvénye, akkor a keletkező fragmentumok lendületeinek vektori összege is köteles nullának lenni. A lendület megmaradása csak egy nem detektált harmadik részecske keletkezése esetén teljesülhet.

A Csikai–Szalay-kísérlet tehát azt bizonyítja, hogy a β -bomlásban az energia- és a perdületmegmaradás mellett a lendületmegmaradás is megsérülne, ha nem lenne antineutrínó. Ez közvetett bizonyíték a(z anti)neutrínó léte.

A debreceni kísérlettel egy időben a Cowan és Reines által vezetett kutatócsoport közvetlen bizonyítékot publikált a Science folyóirat 1956. július 20-i számában. Az USA-ban atomreaktor mellett végezték a kísérleteiket és a reaktorban keletkező nagyszámú hasadvány β -bomlásai során keletkező antineutrínókat fogták be protonnal:



Ez a folyamat a β -bomlás egyfajta fordítottja. Ez a kísérlet Nobel-díjat ért 1995-ben.

A Csikai Gyula és Szalay Sándor által 1957 elején közzétett felvételek elsőként erősítették meg az amerikai kutatók által közölt eredményeket.

A neutrínó létezésének bizonyításával 1956-tól helyreállt a legalapvetőbb megmaradási tételek érvényességébe vetett meggyőződés.

Chen Ning Yang és Tsung-Dao Lee azonban szintén 1956-ban dolgozta ki azt az elméletet, amely szerint a gyenge kölcsönhatás sérti a tértükrözési szimmetriát. Még abban az évben a Chien-Shiung Wu által vezetett amerikai csoport ki is mutatta kísérleti úton, hogy a ${}^{60}\text{Co}$ radioizotóp β -bomlása során valóban sérül a szimmetria a gyenge kölcsönhatás által előidézett folyamatokban. [2].

A paritás (azaz párosság) a hullámfüggvény tértükrözéssel szembeni viselkedésének jellemzésére kitalált fizikai mennyiség. A β -bomlás megsérti a bal és a jobb oldal szimmetriáját, amit az mutat legélesebben, hogy a neutrínó mindig balra „pörög” a menetirányához képest, az antineutrínó viszont jobbra. Tükrözési szimmetria híján pedig a paritás nem marad meg. A paritás nem additív, és a paritásmegmaradás sérülése semmilyen más módon nem halmozódik fel, ezért a paritásmegmaradás sérülésének a makrovilágra nincs megfigyelhető közvetlen következménye. (Közvetett következménye lehet, hiszen például az élővilágban megfigyelhető bal-jobb aszimmetria lehet, hogy a gyenge kölcsönhatástól származik [3].)

Minden megmaradási tétel a kölcsönhatások szimmetriáiból következik. Az energia, a lendület és a perdület megmaradása a kölcsönhatások időbeli és térbeli etolással, illetve elforgatással szembeni szimmetriájából származik. A tértükrözési szimmetria azonban nem olyan általános: a gyenge kölcsönhatásban sérül. A gyenge kölcsönhatás két másik szimmetriát is megsért: az időtükrözést és a részecskék antirészecskéikre való cserélésével (más néven a töltéskonjugálással) szembeni szimmetriát. Ez nem szép a Természettől! Vigasztaló azonban, hogy úgy látszik, a három külön-külön sértett szimmetriaművelet együttes alkalmazásával szemben a gyenge kölcsönhatás is szimmetrikus („CPT-szimmetria”) [4].

Az is megnyugtató, hogy a szimmetriasérülésekből nem következnek makroszkopikus megmaradási tételek sérülése, így Lucretius több mint kétezer éves bölcsessége, amelyet „De rerum natura” című művében fejtett ki, érvényben marad. Nemes Nagy Ágnes fordításában idézve:

Egy új-zélandi Európában

A 42 ország fizikusait képviselő Európai Fizikai Társulat (EPS) 1968-ban történt megalakulása óta a fizika legfontosabb európai szervezete. John Dudley, a Társulat elnöke az első magyarországi EPS történelmi emlékhely avatásának alkalmából látogatott Magyarországra. Az EPS elnökével Fülöp Zsolt, az EPS vezetőségének magyar tagja beszélgetett.

– *Hogyan lehet az, hogy egy Új-Zélandon született fizikus egy európai társulat elnöke?*

– Valóban Új-Zélandon születtem, és ott végeztem tanulmányaimat is. Azonban családi okok miatt már gyerekkorom óta rendszeresen utaztam Európába, és Új-Zélandon is lehetett fogni az európai rövidhullámú adókat, így a budapesti adót is. Tulajdonképpen az első fizikai kísérletem is az volt, hogy olyan antennát és rádiót fabrikáltam, amellyel jobban lehetett az európai adásokat fogni. Amikor a PhD fokozatomon dolgoztam, akkor éreztem meg igazán, hogy Új-Zéland milyen messze van a világ vezető kutatóközpontjaitól, és az első adandó alkalommal Európába költöztem. Azóta is foglalkoztat a tudósok elszigeteltségének problémája, és remélem, az EPS tud ebben is előre lépni. Persze az elzártságnak nemcsak a távolság lehet az oka, hanem a kutatásra fordítható szűk pénzügyi keret is, ami Kelet-Európában tapasztalható.

– *Az Európai Fizikai Társulat széleskörű tevékenységéből ki tudna-e emelni néhányat?*

– Az EPS egyik újkeletű kezdeményezése a történelmi emlékhelyek program, amely olyan helyszíneket jelöl meg Európában, amelyek múltjuk miatt fontosak a fizika szempontjából. Ezek lehetnek épületek, laboratóriumok, egyetemek, akár egész városok is. A fontos az, hogy elismerjük elődeink eredményeit, de egyben felhívjuk a figyelmet a fizika új távlataira is. Ez a program nem várt sikert hozott a Társulat és a fizika számára is, és a tizedik helyszín Európában Debrecenben az MTA Atommagkutató Intézet épülete. Tulajdonképpen ez volt a fő célja magyarországi látogatásomnak.

Egy másik programunk a 2015-ös évet érinti, ugyanis az ENSZ 2015-öt a fény nemzetközi évévé nyilvánította. Ez a program már most 80 országot érint, és kiváló lehetőség arra, hogy a társadalom a fényvel kapcsolatos kutatásokat megismerje. Tudnunk kell azonban, hogy ez a kezdeményezés nemcsak

természettudományos kutatásokról szól, hanem mindenről, ami a fényvel kapcsolatos. Éppen az a lényeg, hogy a társadalom a fény példáján tapasztalja meg a kutatási eredmények és a hétköznapi életünk összefonódását.

Harmadik, hasonlóan fontos kezdeményezésünk egy olyan szakmai anyag összeállítása, amely a fizika példáján keresztül, közgazdasági szakértők segítségével mutatja be, hogy a tudomány milyen mértékben járul hozzá Európa gazdasági fejlődéséhez. Az közhelynek számít, hogy tudományos kutatás és innováció nélkül nem képzelhető el ipari fejlődés, de a tanulmányunkban mi konkrét számadatokat is közlünk az európai gazdaság és a fizikai tudomány kapcsolatáról. Egyik meglepő eredménye ennek a tanulmánynak az, hogy az európai foglalkoztatottság 13%-a valamilyen formában a fizikához kapcsolódik. Ezeket a tényeket közvetítjük az Európai Unió és az OECD döntéshozóinak, de az elemzés letölthető az EPS weboldaláról is.

– *A magyarországi útja során mi volt a benyomása a mai magyar tudományról?*

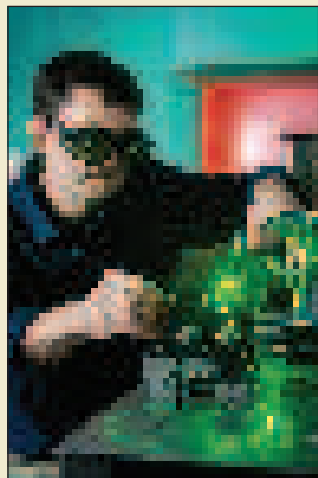
– Magyarország egyike azon országoknak, amelyek a huszadik század nagy fizikai felfedezéseivel büszkélkedhetnek. Sok olyan berendezés, amelyet ma természetesnek tartunk, mint például a személyi számítógép, nem létezhetne magyar tudósok kutatásai nélkül. Tapasztalatom az, hogy a magyar kutatók lelkesedése és tehetsége a mai napig fenntartja ezt a lendületet. Azt azonban látni kell, hogy éppen a gazdasági válság alatt kell emelni a tudomány állami támogatását, mert a tudományra fordított befektetés biztos, hosszú távú befektetés. Érdemes azt is figyelembe venni, hogy

az ipar és tudomány kapcsolatát önálló állami forrásból érdemes támogatni, mert e két terület együttműködése új eredményeket hozhat.

– *Elnök úr! Ön mint fizikus boldog és elégedett embernek tűnik. Mit üzen azoknak a fiataloknak, akik még nem döntötték el, milyen pályát válasszanak?*

– A fizika számomra elsősorban szenvedély, soha nem tekintetem fizikusi tevékenységemet munkának, és szerintem ezzel a legtöbb kutató ugyanígy van. A gyerekek is azért boldogok, mert számukra minden nap egy új kaland. Fizikusként úgy érzem, ugyanebben az örömben lehet részem nap mint nap. A tudományt lelkesedés nélkül lehetetlen művelni, közepes szinten pedig nem érdemes.

John Dudley fizikus, 1966-ban született, új-zélandi, ír és francia állampolgár, jelenleg Franciaországban professzor. Nemlindenaris optikai kutatásairól szóló egyik közleménye a fizikai tudományok legtöbbet hivatkozott 20 cikke között van.



„Nos, bizonyítottam, hogy nem jön létre a lévő

nem-létből, s ami van, nem tűnhet a semmibe újra,

mégis, mert netalán kételkednél abban a tényben,

hogy nem látni a tárgyban a legkisebb elemecskét,

felsorolok néhány természeti tárgyat, amelyről

megvallod magad is, hogy van, de szemünk sose látja.”

Lucretius ezután számos példát sorol fel létező, de láthatatlan jelenségekre. Ha mű-

vét kétezer évvel később írta volna, a felfedezést bizonyára a neutrínóval kezdte volna.

Összefoglalás

Csikai Gyula és Szalay Sándor jelentős mértékben járult hozzá a modern fizika megalapozásához. Az 1950-es években is igen szerénynek számító debreceni és magyarországi lehetőségek mellett a két kutató elszántsága, a mérnökök és technikusok találékonyasága és a szellemes technikai megoldások tették lehetővé a debreceni neutrínókísérlet sikerét.

Irodalom

- [1]Dóczy Rita: A neutrínó visszalökő hatásának észlelése a ${}^6\text{He}$ béta-bomlásában – 50 évvel ezelőtt, *Fizikai Szemle* **55** (2005) 356-361.
- [2]Patkós András: A neutrínó befejezetlen története, *Természet Világa* **130** (1999) 102-107.
- [3]Szabóné Nagy Andrea, Keszthelyi Lajos: A biológiai homokirállítás, *Fizikai Szemle* **50** (2000) 73-76.
- [4]Horváth Dezső: Antianyag-vizsgálatok a CERN-ben, *Fizikai Szemle* **54** (2004) 90-96.

A debreceni neutrínókísérletről interjút olvashatnak Csikai Gyulával az *Élet és Tudomány* 2014/6. számában.