

# KVANTUMJELENSÉGEK KOZMIKUS MÉRETEKBEN: A 2015. ÉVI FIZIKAI NOBEL-DÍJ ÉS HÁTTERE

Király Péter  
MTA Wigner Kutatóközpont RMI

A 2015. évi fizikai Nobel-díjat fele-fele arányban két nagy kutatócsoport vezetője – a japán Szuper-Kamio-kande kísérlettől *Takaaki Kajita* és a kanadai Sudbury Neutrínó Observatóriumtól *Arthur B. McDonald* – kapta az ezredforduló táján elért neutrínófizikai eredményekért. A Nobel-díj Bizottság hivatalos indoklása: „A neutrínóoszillációk felfedezéséért, amelyek megmutatják, hogy a neutrínóknak van tömegük.”

A díj odaítélésének bejelentésekor a Bizottság két ismertető anyagot is közzétett [1, 2], az egyiket „gyalogosok”, a másikat szakemberek számára. E két anyag közérthetően, illetve szakszerűen ismerteti a neutrínóoszillációk vizsgálatának történetét és az új felfedezéseket, elolvasásuk a *Fizikai Szemle* olvasói számára is ajánlott, bár ők a folyóirat korábbi számaiban már elég alaposan tájékozódhattak a témakörrel (különösen ajánlom itt *Fényes Tibor* 2012-es cikkét [3], valamint a régi füzetekben *Marx György* írásait).

A bejelentés kapcsán azonban sokakban maradt némi hiányérzet. Egyrészt úgy emlékeztek, hogy a neutrínóoszillációk és a neutrínótömeg létezése már sokkal korábban is evidencia volt, sőt Nobel-díjakat is kiosztottak ezzel kapcsolatban. Másrészt felidéztek azok nevét, akik a díjazottaknál talán érdemesebbek lettek volna a díjra. Mindkettőben van némi igazság, de itt figyelembe kell venni a díjazás szabályait is.

A Nobel-díj bizottságok munkája egyre nehezebbé válik, különösen a nagy kísérleti kollektívák által elért eredmények megítélésénél. Ma már a részeredmények publikációiban is gyakran ezernél több társszerző szerepel. Hatalmas feladat hárul a csoportok vezetőire, de nehéz szétválasztani, hogy mekkora a szervezői, illetve a tudományos érdemük. Az viszont igaz, hogy ilyen nagy csoportok vezetésére általában elismert kutatókat választanak. Elméleti eredmények értékelésénél talán valamivel egyszerűbb a helyzet, de itt is probléma, hogy az egyes ötletek egymásra épülnek, nem könnyen választhatók szét. Mekkora az ötletadók, illetve az ötletek kidolgozóinak, illetve publikálóinak érdeme? Szabály az is, hogy csak élő személyek kaphatják meg az elismerést. A felfedezés és a Nobel-díj odaítélése közötti

hosszú idő óhatatlanul a hosszabb életűeknek kedvez, és a korábban elhalt társakat az utókor is könnyebben elfelejti. Az alábbiakban – részben saját emlékeim alapján – megpróbálok egy kis áttekintést nyújtani e Nobel-díj előzményeiről és azokról, akiknek fontos szerepe volt, de már nincsenek közöttünk.

## Semleges részecskék és oszcillációik

*Wolfgang Pauli* 85 éve írta meg híres levelét a „radioaktív hölgyeknek és uraknak” arról, hogy a  $\beta$ -bomlásnál az elektron mellett egy semleges részecskének is keletkeznie kell, aminek közvetlen detektálhatóságát ő kevéssé tartotta valószínűnek. Ez az először neutronnak, majd az atommagok részét képező neutron felfedezését követően neutrínónak keresztelt hipotetikus részecske az elméleti fizikán belül hamar polgárjogot nyert, tényleges kísérleti kimutatására viszont egészen az 50-es évekig kellett várni. Arra viszont csak 1962-ben derült fény, hogy legalább kétféle neutrínó létezik: egyik az elektronhoz, másik annak nagyobb tömegű testvérehez, a müonhoz társul. Emlékszem, hogy 1962 nyarán Jénában voltunk szakmai gyakorlaton fizikus szakos évfolyamtársaimmal, és ott kaptuk a hírt e nem várt felfedezésről. Bár *Nagy Károlytól* és *Marx Györgytől* jó elméleti felkészítést kaptunk, a hír jelentőségét akkor nem tudtuk felfogni. Pedig a semleges kaonok oszcillációiról már tudtunk, egyik évfolyamtársunk ebből a témából készült diplomamunkája megírására is. Kozmikus

Takaaki Kajita



Arthur B. McDonald



sugárzási témákról is tanultunk *Fenyves Ervintől*, akinél a müon-bomlásnál kimutatható paritássértésből készültem kísérleti diplomamunkát írni. Azt persze nem sejtettük, hogy a két, már ismert tömeges leptonhoz később egy harmadikat is találnak, és mindháromhoz neutrínó is társul, amelyek akár kozmikus méretű távolságokon is képesek a semleges kaonokhoz hasonló kvantummechanikai oszcillációs jelenségeket mutatni. Azóta több Nobel-díjat is kiosztottak neutrínófizikai eredményekért. A két idei díjazott nagy kutatócsoportok vezetőjeként érdemelte ki az elismerést a hiányzó Nap-neutrínók rejtélyének megoldásáért, illetve a kozmikus sugárzás hatására a légkörben keletkező részecskék bomlásából származó neutrínók vizsgálatáért. A két csoport eredményei a korábbiaknál közvetlenebb bizonyítékot adtak arra, hogy a neutrínók tömege nem zérus, bár ezt már korábbi közvetett bizonyítékok alapján is sejteni (többek szerint tudni) lehetett.

Pauli hipotézise alapján 1934-ben *Enrico Fermi* alkotta meg a gyenge kölcsönhatások elméletét. Kísérleti téren ekkor az elemi részecskék fizikáját a kozmikus sugárzási vizsgálatok uralták. A pozitron, müon, pion felfedezése is ilyen kísérletek során történt. A második világháború idején *Jánossy Lajos* és *George Rochester* Manchesterben igen kifinomult koincidencia-technikát fejlesztett ki új részecskék keresésére és a kölcsönhatások tanulmányozására. A háború befejezése után Jánossy Dublinba ment, Rochester viszont lehetőséget kapott arra, hogy új munkatársával, *Clifford Butlerrel*, sokkal jobb anyagi körülmények között folytassa kutatásait, így modernizált ködkamrájukban erős mágneses tér mellett is tudtak méréseket végezni. 1946–47-ben két érdekes, V-alakú nyomot találtak, amelyek tulajdonságait az ismert kölcsönhatások alapján nem tudták értelmezni [4]. Később ezek a hiperon, illetve a kaon bomlásából származónak bizonyultak. E nyomokról Rochester az első külföldi előadását Jánossy meghívására Dublinban tartotta, amin neves elméleti szakemberek is részt vettek. Mint kiderült, később magas hegyeken sokkal több hasonló nyomot sikerült detektálni. Ezek voltak az első kísérletileg megfigyelt „ritka” részecskék, amelyek a későbbi terminológia szerint a ritka (strange) kvarkot tartalmazták.

A semleges kaon, illetve antirészecskéje erős kölcsönhatásban születik, de csak gyenge kölcsönhatásban tud elbomlani. A két és három pionra való bomlást is megfigyelték mindkettőnél, más-más bomlási állandóval. Kiderült, hogy a gyenge kölcsönhatási sajátállapotok jó közelítésben a kaon és az antikaon „+”, illetve „-” előjellel vett szuperpozíciói, és a töltéstükrözés (C) és paritás (P) operátorok szorzatának sajátállapotai. A gyorsan bomló változat 2 pionra bomlik, nem sértve a CP-paritást, míg a lassan bomló változat számára csak a 3 pionra bomlás megengedett. A semleges kaonoknak nagy szerep jutott a paritássértés (1956), majd később a CP-sértés (1964) felfedezésénél is. Mindkét felfedezés Nobel-díjat ért. Mivel a két CP-sajátállapot tömege kissé különbözik, a szu-

perpozícióban a relatív fázis idővel eltolódik, vagyis a két állapot között oszcilláció lép fel. *Bruno Pontecorvo* már 1957-ben felvetette, hogy ha a szintén semleges neutrínó tömege (a korábbi várakozásokkal ellentétben) nem pontosan zérus, akkor esetleg ott is felléphetnek hasonló oszcillációk. Ekkor még a müon-neutrínó nem volt ismert, így neutrínók és antineutrínók közötti átalakulásokra gondolt.

## A Nap-neutrínók rejtélye

Régóta érdekli a fizikusokat és csillagászokat, de a laikus közvéleményt is, hogy mitől és meddig világít a Nap. A felszínt jól látjuk (de például a forró napkorona stabilitását most sem értjük igazán), viszont a Nap legbelső részében végbemenő energiatermelési folyamatokról sokáig csak elméleti elképzeléseink voltak. Ezek szerint az alapvető folyamat a hidrogén héliummá alakulása, amelynek részfolyamatai különböző energiaspektrumú neutrínókat hoznak létre, amelyek azután a várakozások szerint szinte akadálytalanul eljutnak hozzánk. Csak egy elég érzékeny, energiaspektrumokat is mérni képes neutrínóteleszkópra van tehát szükség ahhoz, hogy beelérjünk a Nap belsejébe, és ellenőrizzük elméleteinket. A Napból érkező neutrínók várható fluxusa  $\text{cm}^2\text{-enként}$  és másodpercenként mintegy 60 milliárd, így a feladat első látásra nem látszik túl nehéznek.

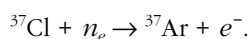
Van azonban néhány bökkenő. A modellek szerint a Nap-neutrínók túlnyomó része 1 MeV-nél kisebb energiájú, és nagyon nehezen detektálható. A mindenütt jelen lévő radioaktív szennyeződések hatásának csökkentése is hatalmas feladatot jelent. A nagyobb, körülbelül 14 MeV-ig terjedő energiájú neutrínók sokkal kevesebben vannak, és a kozmikus sugárzás másodlagos, Földünk légkörében létrejövő komponense ezek megfigyelését is nehezíti. Ezért a méréseket mélyen a földfelszín alatt kell végezni. Végül nagyon nagy tömegű detektorokra van szükség, hogy a detektált események száma ne legyen túl kicsi.

Az antineutrínók atomreaktorból származó fluxusát *Fred Reines* és *Clyde Cowan* 1956-ban már sikeresen megmérte, ezzel bebizonyítva, hogy Pauli pesszimizmusa indokolatlan volt. Ezért a bravúros méréseért Reines csak 1995-ben kapta meg a Nobel-díjat (sajnos Cowan már 1974-ben elhunyt) *Martin Perl* társaságában, aki a tau-lepton felfedezéséért részesült az elismerésben. Ez utóbbi, a müonnál is jóval nehezebb lepton neutrínópárját viszont csak később, 2000-ben sikerült detektálni.

*Raymond Davis* méréseivel kissé bővebben kell foglalkoznunk, mivel ezek meglepő eredményei adták a fő motivációt az idén Nobel-díjjal jutalmazott Nap-neutrínó mérésekhez. Ő maga 2002-ben részesült az elismerésben. Vele együtt kapta meg a díjat *Masatoshi Koshiba* is, akinek munkássága viszont a Kamiokande vizes Cserenkov-detektorhoz kapcsolódik. Ez utóbbi detektor Japánban, a Kamioka bányában volt mintegy 1000 méter mélységben, és az „nde”

végződés arra utal, hogy a berendezés eredeti célja a protonbomlás detektálása volt (*nucleon decay experiment*, de Koshiha szerint e három betűt később sokan *neutrino detection experiment*ként értelmezték). E berendezés sokkal nagyobb és szofisztikáltabb utódja, a Szuper-Kamiokande viszont elsősorban már neutrínók detektálására készült, és a másik idei díjazott csoportja ennek segítségével érte el későbbi eredményeit.

Raymond Davis (1914–2006) fiziko-kémikusként doktorált. Nobel-díj előadásában [5] ír 20 éves mérésorozata előzményeiről is. Bruno Pontecorvo egy 1946-ban Kanadában írt titkosított dolgozata alapján Davis már 1951-ben kezdett foglalkozni azzal a radio-kémiai neutrínódetektálási reakcióval, amit később kísérletében felhasznált:



A kísérletet Pontecorvo klór-tetraklorid felhasználásával javasolta, amelyből forralással választanak le a  $^{37}\text{Ar}$  atomokat, amelyek radioaktív bomlását detektálná (felezési idő 35 nap). Davis annál a nagyteljesítményű Savannah River reaktornál is elvégezte a mérést, ahol Reines és Cowan a szabad antineutrínók létezését bizonyította. Amennyiben az antineutrínó és a neutrínó azonos, a kapott felső korlátnál 20-szor nagyobb fluxust kellett volna mérnie. Ahhoz, hogy a valódi Nap-neutrínók detektálásához kezdjen, nagy előkészítő munkára volt szükség. Nem volt még kidolgozva, hogy a Nap belsejében milyen reakciósorok mennek végbe, és ezekből mennyi és milyen energiájú neutrínó várható. Emellett a dél-dakotai Homestake aranybányában 1500 méter mélységben ki kellett alakítani egy hatalmas laboratóriumot, amelyben a  $380\text{ m}^3$  folyadékot tartalmazó tartály és a vizsgálatokhoz szükséges egyéb berendezés elhelyezhető. Az elméleti munkát nagyrészt *John Bahcall* végezte, akitől Davis segítséget kért. Számításai szerint a Napban lejátszódó reakciók közül a  $^8\text{B}$  bomlásából származnak a legnagyobb energiájú neutrínók, és ezek adják a fő járulékot a keletkező  $^{37}\text{Ar}$  produkcióhoz, noha az összes érkező neutrínók számának mindössze néhány tízezredét teszik ki.

A tényleges mérések 1967-ben kezdődtek. Az első eredmények kiábrándítóak voltak. Egyes háttérforrások csökkentése és a kémiai leválasztás ellenőrzése után ugyan már láttak jelet, de az a vártnál körülbelül 3-as faktossal kisebb volt, és az is maradt majdnem 25 évig, egészen a kísérletek befejezéséig. Sokáig nem lehetett tudni, hogy a kísérletben, a Nap-modellben vagy magukban a neutrínókban lehet a hiba. A rengeteg ellenőrzés után Davis és Bahcall is biztos volt a saját mérésében, illetve számításában, és mások sem tudtak ezekben hibát találni. Új mérések is indultak, amelyek más neutrínóindukált reakciókat használtak fel, és alacsonyabb energiájú Nap-neutrínókra is érzékenyek voltak. A mért jel azonban mindegyik kísérletben kisebb volt a vártnál. Így a kutatókban fokozatosan kialakult az a meggyőződés, hogy a Pontecorvo által javasolt neutrínóoszillációk

miatt látunk kevesebb elektron-neutrínót. Más típusú neutrínókra ugyanis a radiokémiai detektorok nem voltak érzékenyek. Szilárd kísérleti bizonyíték azonban nem volt erre a sokak által már evidenciának tekintett megoldásra.

*Herb Chen* 1984-ben vetette fel azt a szerencsés ötletet, hogy ha közönséges víz helyett nehézvizet töltünk egy detektorba, akkor az képes lesz szétválasztani az elektron-neutrínók és a más típusú neutrínók hatását. A beérkező neutrínók ugyanis kétféleképpen tudnak kölcsönhatni a deutériummal: az úgynevezett töltött áramok segítségével, amelynek hatására elektron és két proton keletkezik, valamint a semleges áramok segítségével protont és neutront keltve, míg a neutrínó ugyanaz marad. Az első folyamatot csak az elektron-neutrínó, míg a másodikat bármelyik keltheti. Emellett a bejövő neutrínó elektron is szóródhat, és ezt a folyamatot az elektron-neutrínók nagyobb hatáskeresztmetszettel generálják, de a másik két típus is létrehozhatja. Az elektronon való rugalmas szóródásból a bejövő neutrínó irányára is következtethetünk, ami segít annak eldöntésében, hogy egy neutrínó valóban a Napból érkezett-e. Sajnos Herb Chen 1987-ben fiatalon elhunyt, és a detektor építését, valamint a kísérleteket már kollégája, Arthur B. McDonald vezette. E mérések bizonyították először, hogy sem Davis, sem Bahcall nem tévedett és a számított  $^8\text{B}$  neutrínófluxus valóban megvan, de különböző típusú neutrínók formájában. John Bahcall ezt az eredményt még megérthette, de 2005 augusztusában ő is eltávozott.

A Sudbury Neutrínó Observatórium létrehozásához mély bányára és hatalmas mennyiségű nehézvízre volt szükség. Szerencsére ez utóbbi Kanadában rendelkezésre állt, és az állam 1000 tonnányit kölcsönzött a kísérlet céljaira. Itt megjegyzem, hogy a nehézvíz világpiaci ára körülbelül tízszer akkora, mint a tokaji aszúé.

## Kozmikus sugárzás és neutrínók

A nagy gyorsítók korában kevesen gondolták, hogy a neutrínóoszillációk egyik döntő bizonyítékát a kozmikus sugárzás légköri kölcsönhatásaiban keletkező részecskék bomlásából származó neutrínók fogják adni. A pionok bomlásából müon-neutrínót, a müonokból elektron- és müon-neutrínót is kapunk. A főleg protonokból álló kozmikus sugárzás magnetoszféránk határára közel izotróp módon érkezik, de a légkör határán már csak a néhányszor 10 GeV-nél nagyobb energiájúak érkeznek egyformán minden irányból, mivel a Föld mágneses tere az alacsony energiájú protonokat és más atommagokat részben eltéríti. A légkörbe érkező részecskék által keltett instabil pionok, kaonok stb. további sorsa energiájuk mellett attól is függ, hogy az eredeti részecske milyen irányból érkezett a légkörbe. A függőlegessel (zenittel) nagy szöget bezáró irányból érkező részecskék utódai ugyanis nagyobb valószínűséggel bomlanak el

a további kölcsönhatás helyett, mint a függőlegesen beérkezőkéi. Így a Föld adott pontján a neutrínók várt irányeloszlásának kiszámítása nem triviális feladat, és részletes Monte Carlo-számításokat igényel. Az eredeti várakozás természetesen az volt, hogy a neutrínók a Földön akadálytalanul áthatolnak, ezért a számolásoknál a szilárd Föld jelenlétét nem kell figyelembe venni.

Már az 1980-as évek közepén felmerült, hogy a nagy Cserenkov-detektorokba alulról, a Földön keresztül a vártnál kevesebb neutrínó érkezik, az eredmény azonban nem volt szignifikáns. Az eddig néhány ezer tonna vizet tartalmazó detektoroknál nagyobb és több fotoelektron-sokszorozóval megfigyelt, valamint a radioaktív háttér ellen jobban védett detektorokra volt szükség. A fejlesztéshez újabb motivációt jelentett a Nagy Magellán-felhőben mintegy 160 ezer éve felrobbant 1987A szupernóva, amelyből származó neutrínókat Amerikában és Japánban is észleltek. E megfigyelést tekintették a neutrínó-asztrofizika születésének, amiért, mint már említettük, Koshiha 2002-ben Nobel-díjban részesült. Ekkor a Kamiokande-detektor helyett egy új, Szuper-Kamiokandénak elnevezett berendezés építését határozták el. Koshiha visszavonult, és a vezetést munkatársa, *Yoji Totsuka* vette át. Az új detektor 3 ezer tonna helyett már 50 ezer tonna vizet tartalmazott, amit ezer helyett több, mint 11 ezer nagyméretű fotoelektron-sokszorozó figyelt meg. E berendezéssel már – a Cserenkov-fénykúp alakja segítségével – jól szét tudták választani az elektron- és müon-neutrínók kölcsönhatásaiból származó eseményeket, sőt a  ${}^8\text{B}$  Nap-neutrínók azonosítására is lehetőség nyílt. Az utóbbiak kiválasztásában nagy segítséget nyújtott nem csak a többinél alacsonyabb energia, de a Cserenkov-kúpoknak a Nap irányával bezárt szöge is. A detektor tehát mintegy 1 km mélységből neutrínófényben látta a Napot. A Nap-eredetű neutrínók száma a Davis-kísérlettel összhangban itt is mintegy 3-as faktoriall kisebb volt az eredeti várakozásnál.

De ami még fontosabb, fény derült az alulról jövő neutrínók kisebb számának okaira is. A két típusú neutrínó irányeloszlását külön-külön vizsgálva azt találták, hogy az elektron-neutrínók a vártnak megfelelő irányeloszlásúak, míg a Föld túlsó oldaláról származó müon-neutrínók mintegy 2-es faktoriall kevesebben vannak. Ezt az 1998. évi Neutrínó Konferencián jelentették be. A hiányzó neutrínók minden bizonnyal tau-neutrínóvá alakultak. Az eredmény fényesen igazolta a neutrínóoszilláció hipotézisét, és sok új, gyorsítókkal végzendő vizsgálatra adott indítást. Emlékszem, hogy közvetlenül e konferenciáról való hazaérkezése után többször is beszéltem Marx professzorral részben az eredmények értelmezéséről, részben *Arnold Wolfendale* professzor látogatásáról, akinek programját vele közösen szerveztük. A két téma azért is kapcsolódott, mert az 1960-as években Wolfendale csoportja volt az egyik első, akik Indiában egy bányában nagyenergiájú neutrínókat észleltek (a másik Fred Reines csoportja volt Dél-Afrikában).

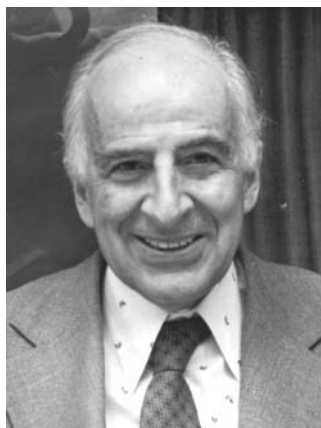
A Szuper-Kamiokande detektort 2001-ben váratlan baleset érte. A fotoelektron-sokszorozók mintegy fele láncreakciószerűen berobbant. Yoji Totsuka hatalmas energiával látott a berendezés újjáépítéséhez. Végzetes betegsége miatt azonban idővel át kellett adnia a vezetést munkatársának, a most kitüntetett Takaaki Kajita professzornak, aki a Nobel-díj kihirdetését követő intézeti fogadáson elsőként Totsuka professzornak, mint mentorának mondott köszönetet. Amikor megkérdezték, hogy szeretné-e még másnak is megköszönni a díjat, a neutrínókat és a kozmikus sugárzást nevezte meg.

## Hazai vonatkozások

Magyarországon a kozmikus sugárzás és a neutrínók kutatásának is nagy hagyománya van. A második világháború előtt *Forró Magdolna* és *Barnóthy Jenő* a dorogi bányákban az elsők között végeztek ilyen nagy mélységben kozmikus sugárzási méréseket. Jánossy Lajos manchesteri méréseit már említettük. Hazatérte után a KFKI-ban sok fiatal munkatársa kozmikus sugárzási méréseken tanulta meg a szakmát. Föld alatti mérésekre is lehetőség volt a 4. épület közelében elhelyezkedő akna jövöltárból. Diplomamunkámat én is ott készítettem a müonok 40 méter vízekvivalens mélységben végzett vizsgálatával. Fenyves Ervin és *Somogyi Antal* vezetésével még sok érdekes mérés helyszíne volt ez az akna.

A neutrínófizika egyik első érdekes hazai eredménye *Csikai Gyula* és *Szalay Sándor* 1956-ban Debrecenben végzett rendkívül szellemes kísérlete volt, amelynek során  ${}^6\text{He}$  béta-bomlásánál sikerült kimutatniuk a kilépő neutrínó visszalökő hatását [6]. Több fontos nemzetközi neutrínóprojektben vett részt *Kiss Dezső*, így a Bajkál-tó mélyén végzett mérésekben. A napjainkban is folyó Borexino-kísérletben ma is több magyar dolgozik. Természetesen a CERN neutrínókkal kapcsolatos kísérleteiben is jelentős a magyar részvétel.

Külön ki kell emelni Marx György szerepét, aki oktatói és ismeretterjesztő tevékenysége mellett egyrészt sok tanítványával együtt vett részt neutrínófizikai kutatásokban, másrészt nemzetközi téren is vezető szerepet játszott. Ő hívta össze 1972-ben Balatonfüreden az első Neutrínó Konferenciát, amin sikerült mind a Szovjetunióból, mind Nyugatról meghívnia a vezető kutatókat. Sokan itt találkoztak először. Ezen a konferencián magam is részt vettem, és most is emlékszem, milyen nagy élmény volt egy-egy eddig csak könyvekből ismert kutató előadását hallani. E konferenciák sorozata azóta már a 27-iknél jár, és Marx professzor egészen haláláig volt a tanácsadó testület vezetője. Jó lenne tudni, hogy az ő szervező tevékenysége milyen nagy mértékben járult hozzá, hogy idén e témából ünnepelhetjük a Nobel-díjasokat. Ki kell még emelni, hogy több régi ötlete ma intenzív kutatás tárgya. Ilyen a geo-neutrínók vizsgálata, amelyek a Föld belsejében végbemenő radioaktív bomlásról és energiatermelésről adnak hírt.



Bruno Pontecorvo



John Bahcall



Herb Chen



Yoji Totsuka

A neutrínóoszillációkkal kapcsolatban még valakiről meg kell emlékeznünk, aki tiszteletbeli kollégánként a KFKI RMKI tanácsadója volt 17 évig, és aki korai haláláig a nagyenergiájú elméleti fizika egyik legelismertebb, rendkívül invenciózus szakértője volt. *Vlagyimir Gribov* (1930–1997) [7] neutrínóoszillációval kapcsolatos, 1968-ban Bruno Pontecorvóval közösen írt cikkét nagy előrelépésnek tekintik, és rengetegen idézik. *Nyíri Júlia* emlékei szerint később is foglalkozott e témakörrel, és ő úgy tudja, hogy Pontecorvóval már a 60-as években is gyakran tárgyaltak meg aktuális tudományos kérdéseket. Gribov azonban csak akkor publikált bármit is, ha biztos volt abban, hogy eljutott a megértésig. Nem tudjuk és már nem is fogjuk megtudni, hogy a neutrínóoszilláció eredeti ötletének felvetésében mekkora volt az ő szerepe.

### Kiknek járt volna még a díj?

Nem bocsátkozom spekulációkba arról, hogy a neutrínóoszillációk felfedezéséért járó Nobel-díjat milyen arányban kellett volna megosztani, ha a Bizottság hatalmában állna, hogy érdemük szerint ítéljen meg

„élőket és holtakat”. A fentiek alapján csupán négy személyről – akik biztosan érdemesek lettek volna rá – mutatok be fényképet: Bruno Pontecorvo (1913–1993), John Bahcall (1934–2005), Herb Chen (1942–1987) és Yoji Totsuka (1942–2008).

### Irodalom:

1. The Nobel Prize in Physics 2015, Popular Science Background: The Chameleons of Space. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2015/popular-physicsprize2015.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/popular-physicsprize2015.pdf)
2. The Nobel Prize in Physics 2015, Advanced Information: Scientific Background: Neutrino Oscillations. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2015/advanced-physicsprize2015.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/advanced-physicsprize2015.pdf)
3. Fényes T.: Neutrínóoszilláció, leptogenezis, neutrínógyarak. *Fizikai Szemle* 62/2 (2012) 37. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1202/fenyest2012.html>
4. Király P.: A manchesteri kozmikus sugárzási iskola és a ritka részecskék felfedezése. *Fizikai Szemle* 52/6 (2002) 186. <http://www.fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0206/kiraly0206.html>
5. R. Davis: *A half-century with solar neutrinos. Nobel-lecture, 2002.* [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2002/davis-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2002/davis-lecture.pdf)
6. Dóczi R.: A neutrínó visszalökő hatásának észlelése a  ${}^6\text{He}$  béta-bomlásában – 50 évvel ezelőtt. *Fizikai Szemle* 55/10 (2005) 356. <http://www.fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0510/DocziR.pdf>
7. Frenkel A.: Vladimir Gribov 1930–1997. *Fizikai Szemle* 47/9 (1997) 286. <http://epa.oszk.hu/00300/00342/00093/vgribov.html>

**Ez is a Kanári-szigetek!**

Nézzed meg!  
Töltsd le!  
Mutasd meg másoknak!  
Tanítsd meg diákjaidnak!

**VAN ÚJ A FÖLD FELETT**

Keress a [fizikaiszemle.hu](http://fizikaiszemle.hu) mellékletek menüpontjában!