

intézetünkben, majd pedig az egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékét vezette mintegy harminc évig. Ma a Debreceni Egyetemnek és az ATOMKI-nak is professzor emeritusa. Hogy mi teszi alkalmassá a Fizika Világéve ünneplésére éppen ezt az előadást? Az, hogy a szóbanforgó kísérletet körülbelül ötven évvel ezelőtt, tehát éppen *Einstein* éve és napjaink között félúton végezték el. Hogy tovább játsz-

szam a számokkal, megemlítem, hogy az 50 és a 100 között félúton 75 van, és *Csikai professzor úr ebben az évben éppen a 75. évét tölti be*. Azért is kértük fel erre az előadásra, hogy megtiszteljük vele, és hogy elismerésünket is kifejezzük eredményeiért.”

Lovas Rezső
MTA ATOMKI

A NEUTRÍNÓ VISSZALÖKŐ HATÁSÁNAK ÉSZLELÉSE A ${}^6\text{He}$ BÉTA-BOMLÁSÁBAN – 50 ÉVVEL EZELEŐTT

Szalay Sándor professzor 1951-ben azt javasolta *Csikai Gyula* II. éves egyetemi hallgatójának, aki akkor a Kísérleti Fizikai Tanszéken *externista* volt, hogy foglalkozzon az expanziós ködkamrák elvi és technikai kérdéseivel, majd próbáljon meg üzembe helyezni egy korábban készült ilyen eszközt.

Rövid történeti áttekintés

Pauli 1930-ban vetette fel a neutrínókoncepciót, amelyet 1931-ben ismertetett Pasadenában, az Amerikai Fizikai Társulat konferenciáján. „Kell, hogy legyen a béta-bomlásban egy harmadik, láthatatlan, semleges, kis tömegű részecske, amely felelős a hiányzó energiáért, impulzusért és impulzusmomentumért.”

1932-ben *Chadwick* felfedezte a neutron, míg *Anderson* kimutatta a pozitront („antielektron”), amelyet *Dirac* a relativisztikus kvantumelméletből korábban megjósolt. Mindkét részecske létezését ködkamra-felvételekkel igazolták.

1934-ben *Fermi* publikálta a béta-bomlás elméletét, mely a neutrínó létén és feltételezett tulajdonságain alapult.

Dirac elméletéből az antineutrínó létezése is következett, és így a β^- -bomlást a neutron átalakulása alapján értelmezzük:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}.$$

Az atommagban egy neutron felhasad, amelynek révén p , e^- , $\bar{\nu}$ keletkezik, és az utóbbi kettő emittálódik.

Közvetlen bizonyítékot a neutrínó létezésére a következő inverz β -reakciók adhatnak:

$$\nu + n \rightarrow p + e^-; \quad \bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+.$$

1953-ban *Reines* és *Cowan* az antineutrínó okozta reakciót detektálta, nagy tömegű víz (150 kg H_2O) és reaktorból származó intenzív antineutrínó-fluxus ($10^{13} \bar{\nu}/\text{cm}^2\text{s}$) felhasználásával, amely percenként $0,41 \pm 0,20$ esemény-

Nuclear Physics in Astrophysics II., EPS'05 Debrecenben rendezett konferencia szervezőinek felkérésére *Csikai Gyula* a fenti kutatásokról egy tömör visszaemlékező előadást tartott, melynek ez az írás a kibővített, szerkesztett változata.

számot eredményezett. Összehasonlításul érdemes megjegyezni, hogy a hatáskeresztmetszet-viszony egy foton-atom, illetve egy antineutrínó–proton kölcsönhatásban 28 nagyságrendben tér el, azaz

$$\frac{\sigma(b\nu + \text{atom})}{\sigma(\bar{\nu} + p)} \geq 10^{28}.$$

A neutrínó létezésének indirekt kimutatására vonatkozó vizsgálatok, amelyek a magvisszalökő hatásán alapultak 1936-ban kezdődtek el. Így például *Leipunski* a ${}^{11}\text{C}$ β^+ -bomlását, míg *Allen* a ${}^{37}\text{Ar}$ K-befogását vizsgálta. *Sherwin* a ${}^{32}\text{P}$ -, ${}^{90}\text{Y}$ -izotópok esetén az elektron – visszalökött mag, A_R szögeloszlását – ($\beta^- - A_R$)(Θ) – tanulmányozta. *Allen* és *Jentschke* kezdeményezte először ezen vizsgálatot a ${}^6\text{He}$ bomlásában (*Phys. Rev.* 1953), amelyet *Rustad* és *Ruby* (*Phys. Rev.* 1955) GM–PM koincidenciamódszerrel továbbfejlesztett, és a ${}^6\text{He} \rightarrow \text{P}(\beta^- - A_R) \rightarrow \text{P}(e^- - \bar{\nu})$ folyamat alapján az elektron–antineutrínó szögkorrelációjára következtetett. A rossz statisztika nem tette lehetővé a β -bomlásban uralkodó kölcsönhatás típusának (S, V, T, A, P) meghatározását a mért $e^- - \bar{\nu}$ szögkorreláció alapján.

Vizsgálatok Debrecenben

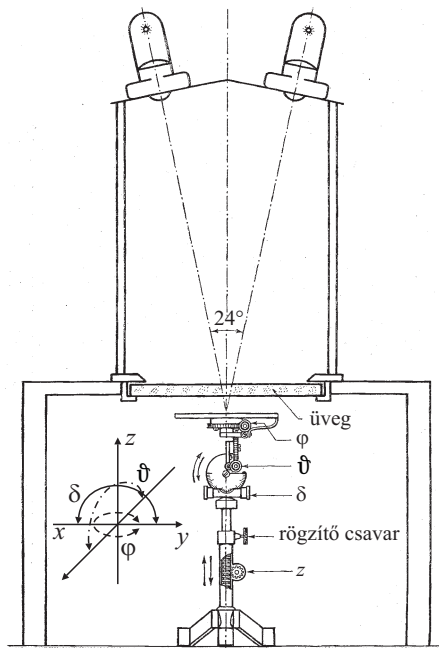
Szalay professzor javaslata alapján azt remélték, hogy kisnyomású ködkamrát használva a neutrínó visszalökő hatását sikerül kimutatniuk a ${}^6\text{He}$ β -bomlása során keletkező ${}^6\text{Li}$ nyomának észlelése révén. A kis tömegű és nagy bomlási energiájú ${}^6\text{He}$ -izotóp esetén keletkező ${}^6\text{Li}$ visszalökési energiája, E_R az összes β^- -bomlás közül a legnagyobb ($E_{R\text{max}} = 1410$ eV, míg a spektrum maximumához tartozó érték 238 eV, amit a neutrínó impulzusa befolyásol, és ez az $e^- - \bar{\nu}$ szögkorreláció függvénye). A bomlási folyamat és a visszalökési energia összefüggései a következők:

$${}^6\text{He} \rightarrow {}^6\text{Li} + \beta^- + \bar{\nu} + 3,6 \text{ MeV},$$

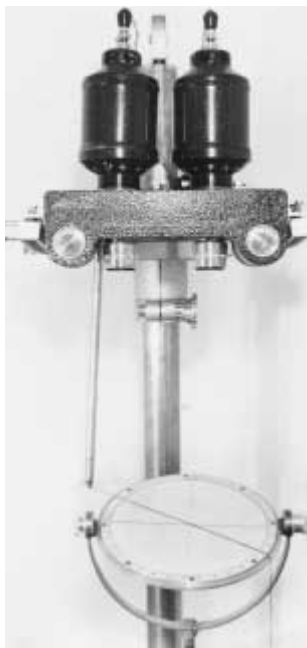
$$E_R (\text{eV}) = \frac{536}{A} (E_\beta^2 + 1,022 E_\beta),$$

ahol E_β MeV-ben mérendő.

A Wilson-féle expanziós ködkamra végső változatának megtervezésére és megépítésére 1953–55 között került



1. ábra. Az optikai kiértékelő rendszer



A ködkamrát ciklikus üzemben működtették 45 s ismétlődési idővel, amelyet elektromechanikus és pneumatikus vezérlőrendszerrel oldottak meg, mivel akkor még mikroprocesszor és a hozzá szükséges elektronika nem állt rendelkezésre. A kamrát négy oldalról világították meg párhuzamos fénynyalábokkal, amelyet házilag, plexiből készült kondenzorlencsék fókuszába helyezett villanólámpák (vonallflash) biztosítottak. Ezen speciális méretű, 30 cm hosszú, 5 cm átmérőjű, 150 Hgmm xenontöltésű, flashcsöveket szintén házilag készítettek, illetve fejlesztették ki, mivel ezek akkor még nem voltak kereskedelmi forgalomban. Speciális üveget (C-9) és elektródaanyagot (W+Al) használva 10^{-4} s kisülési időt és 100 J energia mellett 1000 villanást értek el. A xenontöltésű villanólámpák fizikai tulajdonságairól írta első publikációját Csikai Gyula 1955-ben [1].

A felvételeket két, 24° sztereoszögbe helyezett fényképezőgéppel készítették. A gépek hátlapjai helyére megvilágító lámpákat helyezve az előhívott filmet azonos optikai

rendszeren vetítették vissza egy keresőasztal felületére (1. ábra). Ezzel a módszerrel elkerülték a szisztematikus optikai torzítási hibákat, és a minden irányban állítható asztal segítségével meghatározták a reakciók paramétereit (a visszalökött mag és az elektron nyoma közötti szög, az elektron pályájának görbületét, a nyomok irányát és hatótávolságát).

Egy Helmholtz-tekerces segítségével homogén mágneses teret hoztak létre a kamrában, annak érzékeny ideje alatt. A maximális térerősség ($H(\text{Oe}) = 15,1 I(\text{A}), I_{\text{max}} \approx 70 \text{ A}, H_{\text{max}} \sim 10^3 \text{ Oe}$) lehetővé tette 4–5 MeV energiájú β -részecskékhez tartozó görbületi sugár meghatározását (2. ábra).

A ködkamra működését α -, β - és γ -források alkalmazásával ellenőrizték, a részecskék által keltett nyomok felvételei a 3. ábrán láthatók. A ^{60}Co γ -sugarai által kiváltott fotoelektronok energiája egybeesett a ^6He β -spektrumához tartozó legvalószínűbb energiával, ami alkalmas a várható esemény azonosítására. A Th(B+C)-izotóp alkalmazásával a kamra érzékenysége α - és β -részecskék estén egyszerre ellenőrizhető.

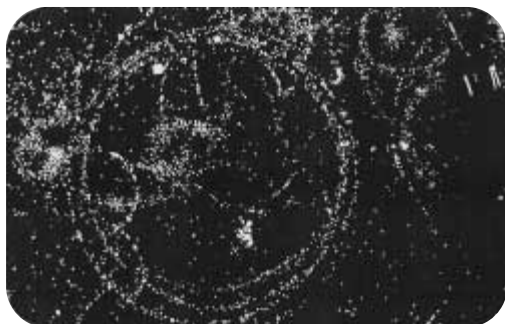
Az expanziós kamra 1955-ben történt sikeres üzembe helyezése után [2] a neutrínókísérlettel Csikai Gyula és Szalay Sándor foglalkozott, míg Hrehuss Gyula diffúziós ködkamrát épített [3].

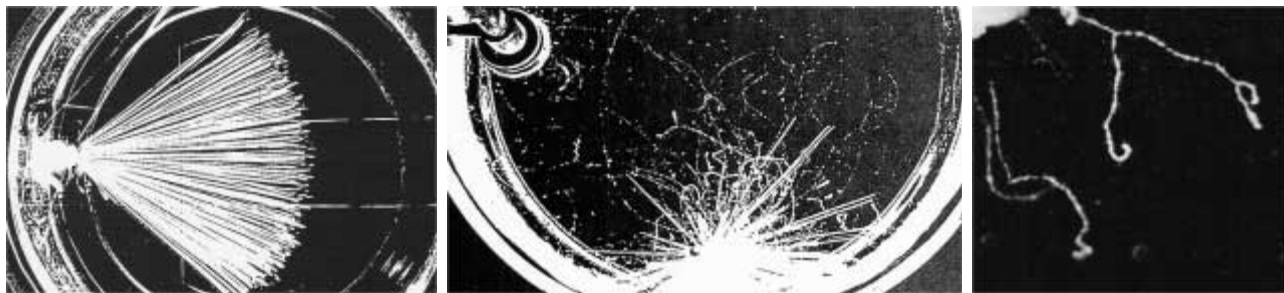
Sikeresen megoldották a rövid élettartamú ($T_{1/2} = 807 \text{ ms}$) ^6He -izotóp előállítását a $^9\text{Be}(n,\alpha)$ reakcióban és bejuttatását a ködkamrába. Néhány másodperccel az expanzió előtt egy 150 GBq intenzitású $^{210}\text{PoBe}$ -forrást pneumatikusan 5 g $\text{Be}(\text{OH})_2$ -target közelébe lőttek. A jól emanáló, finomszemcsés (1–2 μm) $\text{Be}(\text{OH})_2$ -port szűrőpapírból készült csészébe helyezték, amely a keletkező ^6He -gázt könnyen áteresztette. Közvetlenül (0,3 s) az expanzió előtt alkalmazott komprimált levegő a neutronforrást egy árnyékoló tömb belsejébe lőtte, míg a 4. ábrán látható gumizsák lenyomásával a keletkező ^6He gázt a kamra terébe áramoltatta.

sor, amelyet Szalay Sándor útmutatásai alapján Csikai Gyula és Hrehuss Gyula közösen valósított meg. Hrehuss Gyula, aki az ELTE TTK fizikus szakán 1955-ben végzett, már 1954 nyaratól csatlakozott a programhoz, míg Csikai Gyula mint demonstrátor, majd Szalay Sándor aspiránsaként végezte a ködkamra építését.

A kamra érzékeny térfogatát egy 28 cm átmérőjű és 5 cm magas üveghenger határozta meg, amelyet felül 2 cm vastag üveglap, alul pedig 3 mm vastag Al-koronggal merevített és fekete zselatinréteggel bevont gumimembrán határolt. Ez utóbbi biztosította az adiabatikus expanziót az 1,25–1,30 tartományban, amelynek ideje 2 ms volt. A ködkamrát 200 Hgmm nyomású hidrogéngázzal töltötték fel, és a kondenzálódó gőzt víz és etilalkohol 50%-os keveréke biztosította. Tekintettel a ködkamra 0,15 s érzékeny idejére, a felvételeket az expanzió után körülbelül 0,1 s késéssel rögzítették. Az elektrosztatikus tisztító tér, amelyet közvetlenül az expanzió előtt ($\sim 0,01 \text{ s}$) kikapcsoltak, döntő szerepet játszott a háttér csökkentésében. A tisztító teret egy vékony drótháló és a zselatinréteg közötti 10^2 – 10^3 V egyenfeszültséggel állították elő, amelynek az expanzió alatti jelenléte diffúzzá tette volna a nyomokat.

2. ábra. Elektronok nyoma mágneses térben ($R = mv/eB$).





3. ábra. α -, β - és γ -hitelesítő források. a) $^{210}\text{Po} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + ^4_2\text{He}$, b) $\text{Th B}(^{212}\text{Pb}) \rightarrow \text{Th C}(^{212}\text{Bi})$ és c) ^{131}I -izotóptól származó β^- -nyomok.

A ^6He telítési aktivitását (A) a céltárgyat érő neutronfluxus $\langle \phi \rangle = Y/4\pi\langle r^2 \rangle$, és a spektrumra átlagolt hatáskeresztmetszet $\langle \sigma \rangle = 50$ mb (az akkor rendelkezésre álló adatok alapján) csak becsülni lehetett. Az $A = n\langle \phi \rangle \langle \sigma \rangle$ összefüggésből ~ 600 dps adódott, $Y_n \sim 10^7$ n/s forrásintenzitást és Medveczky [4] spektrális hozam $Y(E_n)$ adatait felhasználva. A legújabb (n, α) gerjesztési függvény [5], valamint a spektrális hozam alapján (5. ábra) az átlagos hatáskeresztmetszetre 60 mb(!) adódik a

$$\langle \sigma \rangle = \frac{\int Y(E) \sigma(E) dE}{\int Y(E) dE}$$

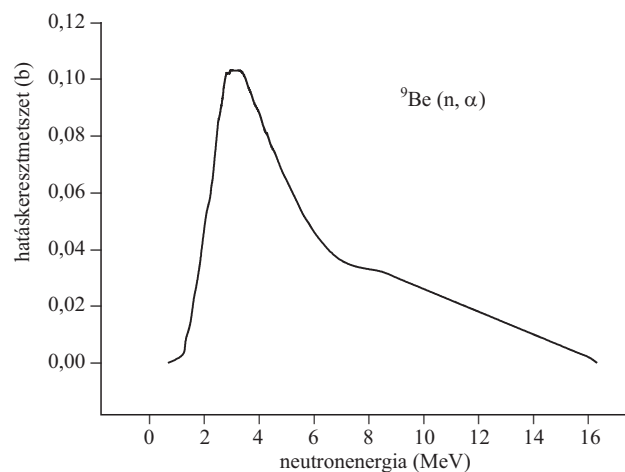
összefüggés alapján, ahol az E_n küszöbenergia 0,67 MeV.

Az első sikeres felvételek a neutrínó magvisszalökő hatásáról 1956 végén készültek, és először 1957-ben publikálták [6–8]. Néhány tipikus felvételt mutat a 6. ábra, amely egyértelműen igazolja az antineutrínó létét a ^6He β^- -bomlásában. A fénykép (7. ábra) mutatja, amint Szalay Sándor és Csikai Gyula 1956 végén a ködkamra-felvételeket értékeli. Az első kísérleti sorozatban több mint 2000 sztereo-felvétel készült, amelyek kiértékelésével 120 eseményt tudtak azonosítani, ami nagyságrendekkel kisebb volt annál, amit az aktivitás alapján várni lehetett, a kamra rövid érzékeny ideje, a $\text{Be}(\text{OH})_2$ edényből a ^6He gyenge emissziója, a késleltetési idő, valamint a kicsiny érzékeny térszög miatt. A pályagörbületből az elektron impulzusát, míg a visszalökött mag és a β -részecske által bezárt szög alapján a neutrínó impulzusát határozták meg. A rossz statisztikából az $e^- \bar{\nu}$

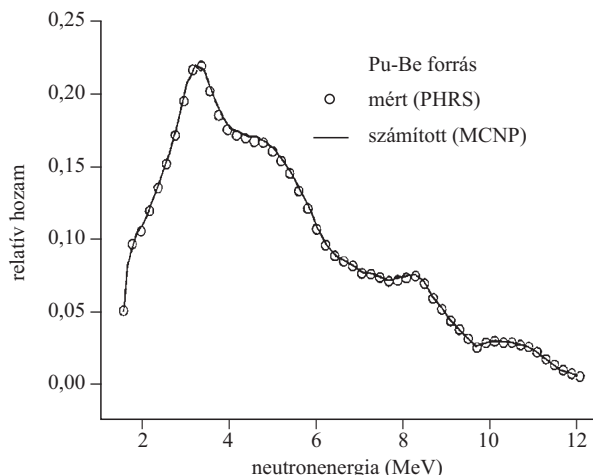
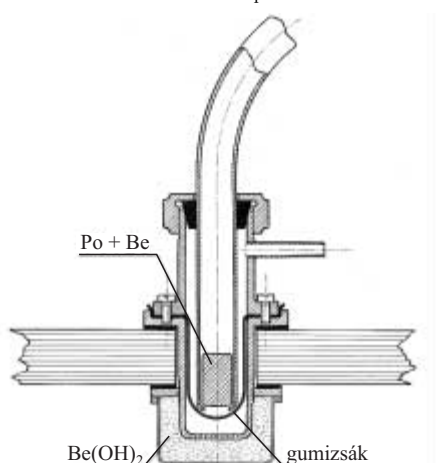
szögkorreláció mérése alapján [9–11] a kölcsönhatás típusára nem sikerült következtetni.

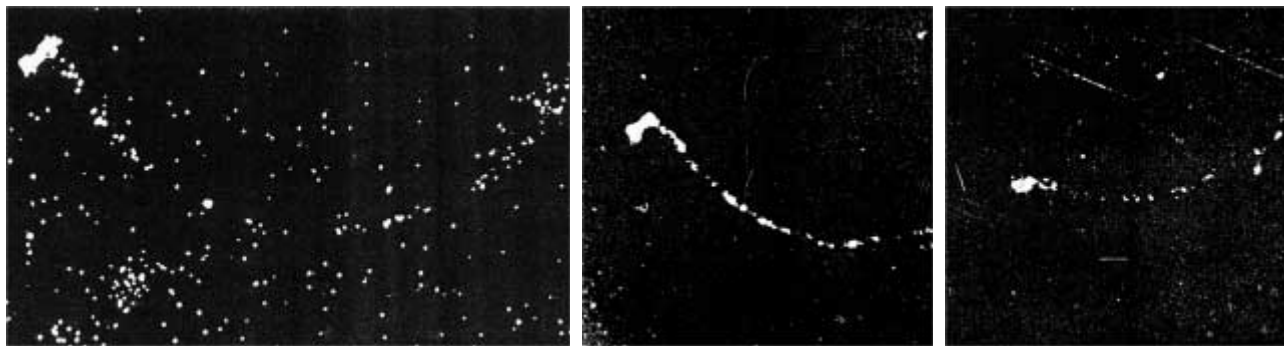
A vizsgálatok folytatására – a statisztika növelése érdekében – egy speciális, 17 m hosszúságú film befogadására alkalmas sztereo-fényképezőgépet terveztek és építettek. A ködkamra fényképe az új sztereo-felvével a 8. ábrán látható. A kép jól mutatja a Helmholtz-tekercset, a kamra terét megvilágító egységeket, a 4. ábrán részletezett alkatrészek csatlakozási helyét, valamint a visszavetítő lámpákat. A 138 nap felezési idejű PoBe neutronforrás bomlása miatt a bő egy év alatt (1957–58) készült $\sim 10^4$ sztereo-felvétel kiértékelésével is csak kevés, 197 eseményt kaptak.

5. ábra. Gerjesztési függvény és spektrális hozam a $^9\text{Be}(n, \alpha)$ reakció hatáskeresztmetszetének becsléséhez



4. ábra. A ^6He -izotóp előállítása





6. ábra. Az első sikeres felvételek a neutrínó magvisszalökő hatásáról (1956)

Az eredmények visszhangja

A kísérletekről először a Padova–Velece konferencián számoltak be nagy sikerrel [8], ahol a körülbelül ezer résztvevő között *Pauli*, *Heisenberg*, *Lee* és *Yang* is jelen volt (9. ábra). Az előadást Szalay Sándor tartotta, amelyet részletes diskusszió követett. A *ZsETP*-ben [9] 1958-ban közölt felvételek egyikét számos szak- és tankönyvben mutatták be, így például az elsők között *Keszthelyi Lajos* (1959), *Györgyi Géza* (1961), *Marx György* (1961), *Tarján Imre* (1964), *W.E. Burcham* (1965), *Fenyves Ervin*, *Haiman Ottó* (1965), *H.F. Schopper* (1966), *W.E. Meyerhof* (1967), ... majd *Toró Tibor* (1976), *E. Segré* (1977), ... *Simonyi Károly* (1981), ... *T. Dorfmüller*, *W.T. Hering*, *K. Stierstadt* (1998), ... *Paál Tibor* (2005). Az eredmény oktatási jelentőségét jól illusztrálja Simonyi Károly levele Csikai Gyulához (10. ábra)

A hivatkozások közül érdemes még megemlíteni:

1. Joe S. Tenn, Griffith – *Observer*, 1976. augusztus



Balra: Here is a dramatic display of apparent nonconservation of momentum in the beta decay of helium-6 (at rest!) into lithium-6 and an electron (from J. Csikai and A. Szalay, Proceedings of the International Congress on Nuclear Physics in Paris, 1958, Publications Dunod, Paris, 1959). *Jobbra*: There must be an invisible person pulling on the rope!

7. ábra. Szalay Sándor és Csikai Gyula a ködkamra-felvételeket értékeli



2. Christine Sutton – *New Scientist*, 1988. január 14.

„This picture taken in 1957, was the first to show the invisible presence of a neutrino, from the radioactive decay of helium-6 which has two more neutrons than ordinary helium. The short, thick track at the top left is the recoiling nucleus: the lighter, curving track is the electron.

8. ábra. A ködkamra az új sztereofelvével

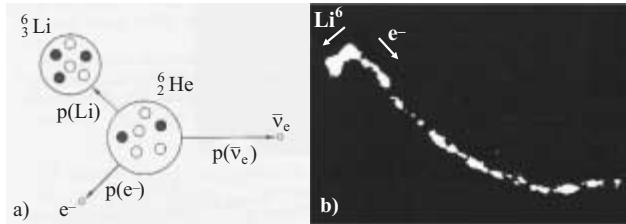


9. ábra. Találkozás *Pauli*val a Padova–Velece konferencián, 1957. szeptember 22–28.



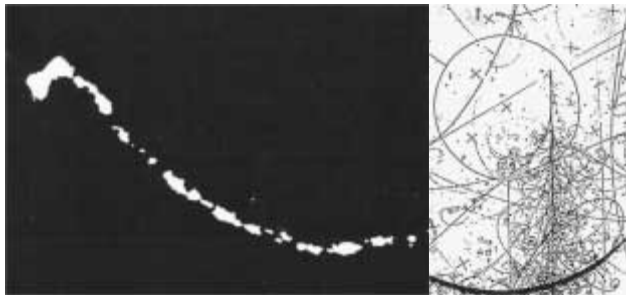
The two tracks are not back-to-back, indicating that a third particle – the neutrino – participated in the decay.”

3. Bergman Schaefer, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1998. Bemutatja a ${}^6\text{He}$ β -bomlásának elvét és a ködkamra-felvételt.



Beta-decay of 6-helium nucleus: a) principle (○ neutrons, ● protons); b) Cloud-chamber picture. (Photo: J. Csikai, Debrecen; JETP 35(1958) 1072)

4. D. Perkins, *Physics World*, 10(4) (1992) 53

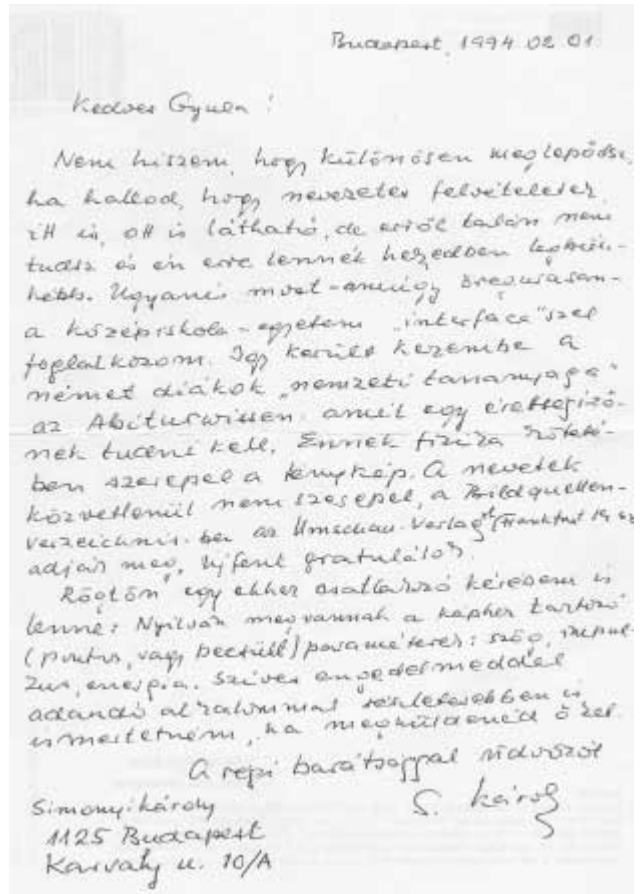
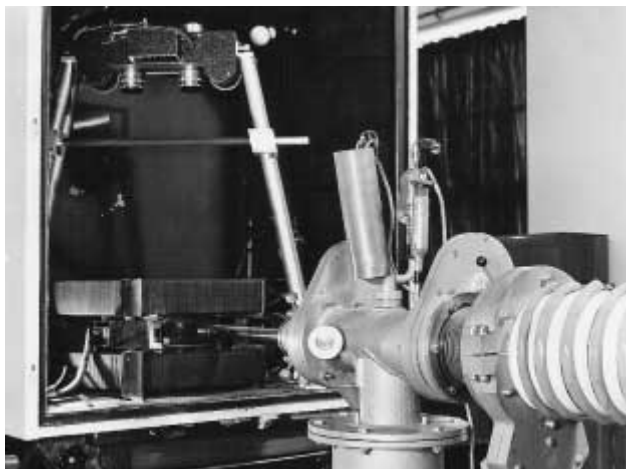


Balra: BIRTH OF A NEUTRINO. A historic picture of the decay of a radioactive nucleus, ${}^6\text{He}$, in a cloud chamber. The long track is due to the electron, and the short stub to the recoiling ${}^6\text{Li}$ nucleus. Obviously momentum is missing and is accounted for by a neutrino, roughly at 12 o'clock. *Jobbra*: DEATH OF A NEUTRINO. A 200 GeV muon-type neutrino enters the bubble chamber at 12 o'clock and interacts with a nucleon, creating several neutral and charged muon (μ^-) with about 100 GeV energy (the rather straight track at 5 o'clock). Almost one billion neutrinos traversed the chamber at the time this single interaction took place.

Néhány további ködkamrakísérlet

A neutrínókísérletek befejezése után a ködkamrát a neutrongenerátorhoz csatlakoztatva (11. ábra) néhány további egyedi kísérletet végeztek. Egy tipikus felvételt mutat a 12.a ábra a gyors (14 MeV energiájú) neutronok és a

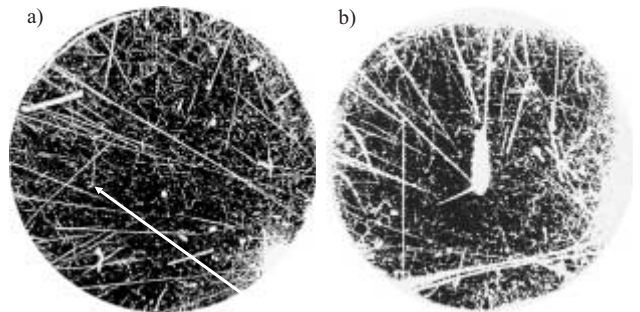
11. ábra. A ködkamra csatlakozása a neutrongenerátorhoz



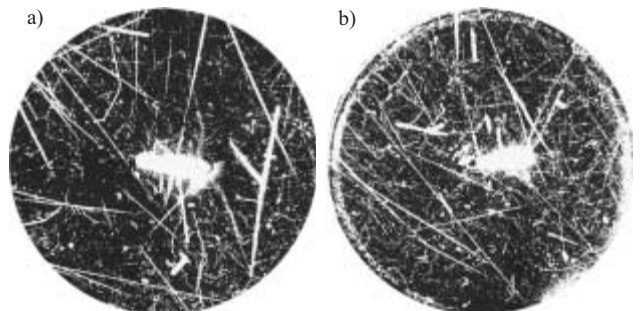
10. ábra. Simonyi Károly levele Csikai Gyulához

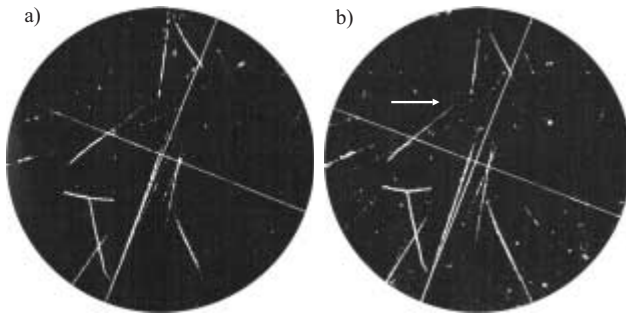
ködkamra gázának kölcsönhatásáról. Vékony Li-fólia behelyezésével vizsgálatot végeztek a nukleon stabil ${}^4\text{He}$ atommag létezésére, a ${}^7\text{Li}(n,n'){}^4\text{He}$ reakció feltételezésével. Közel 2000 sztereofelvételt kiértékelve (12.b ábra

12. ábra a) (n,p) és (n,np) reakció a nyílhegnyél, b) a 151 összesen talált ${}^7\text{Li}(n,n'){}^4\text{He}$, $\sigma < 2,2$ mb esemény egyike közepén

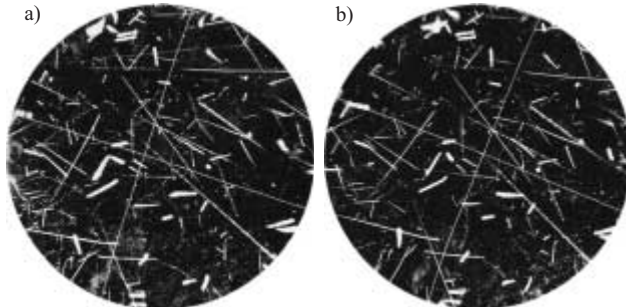


13. ábra. ${}^9\text{Be}(n,2n){}^8\text{Be}^* \rightarrow 2\alpha$, $\tau \sim 10^{-17}$ s





14. ábra. A $^{12}\text{C}(n,n')3\alpha$ reakció sztereofényképe



15. ábra. A $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$ reakcióból származó neutronok polarizációjának vizsgálata

közepén, V alak) 151 eseményt találtak a $^7\text{Li}(n,n')^4\text{He}$ folyamatra, míg a ^4He -emisszióra egyet sem. A hatáskeresztmetszetre $< 2,2$ mb felső korlátot adtak meg [12]. Amint az a 12.a ábrán látható, a V alakú (rövid és hosszú, amelyre a nyíl mutat) nyomok gyakorisága lehetővé tette az (n,p) és (n,np) reakciók hatáskeresztmetszetének meghatározását 14 MeV neutronenergiánál [13].

Sikeres kinematikai analízis alapján, vékony Be-céltárgyat használva (13. ábra) Csikai Gyula meghatározta $E_n \sim 14$ MeV-nél a $^9\text{Be}(n,2n)^8\text{Be}^* \rightarrow 2\alpha$ reakcióban keletkező $^8\text{Be}^*$ élettartamát, amelyre $\sim 10^{-17}$ s értéket kapott. Megalapítása szerint a reakció két lépcsőben megy végbe ($n + ^9\text{Be} \rightarrow ^8\text{Be}^* + 2n$, $^8\text{Be}^* \rightarrow 2\alpha$), ami biztosítja a $^8\text{Be}^* + ^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}$ reakció létrejöttét, fontos hozzájárulást adott az elemek kialakulásának értelmezéséhez [14].

A három α -klaszterből álló ^{12}C atommag létezését igazolja a $^{12}\text{C}(n,n')3\alpha$ reakció ködkamra-felvétele 14 MeV neutronenergiánál (14. ábra). Ennek kinematikai analízise szintén alkalmas ad a ^8Be izotóp élettartamának becslésére.

A neon nemességazon végbemenő, $^{20}\text{Ne}(n,\alpha)^{17}\text{O}$, stabil végmaghoz vezető reakcióban az α -részek szögeloszlása

alapján a folyamat mechanizmusát határozták meg 14,5 MeV bombázó energiánál [15].

A ködkamra alkalmazása lehetővé tette a $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$ reakcióban keletkező neutronok polarizációjának meghatározását is [16]. Analizátorként a ^4He atommag rugalmas szóródásában jelentkező jobb-bal aszimmetriát használták, amint azt a 15. ábrán látható sztereofelvétel illusztrálja.

A ködkamra a tudományos kutatásokon túl laboratóriumi gyakorlatok, diplomamunkák, szakdolgozatok keretében több mint 30 éven át a hallgatók képzését is szolgálta. A berendezés jelenleg az ATOMKI technikai eszközeinek múzeumában kapott elhelyezést.

Dóczi Rita

DE TTK Kísérleti Fizikai Tanszék
MTA ATOMKI, Debrecen

Irodalom

1. CSIKAI GY.: *Kisméretű villanó (flash) lámpa* – Magyar Fizikai Folyóirat 3 (1955) 417
2. CSIKAI GY., HREHUSS GY., SZALAY S.: *Precíziós automatizált expanziós ködkamra* – MTA Matematikai és Fizikai Osztályának Közleményei 7 (1957) 134
3. HREHUSS GY.: *Diffúziós ködkamra* – Fizikai Szemle 6 (1956) 153
4. MEDVEZSKY L.: *Po-Be neutronforrás energiaspektrumának vizsgálata fotoemulziós módszerrel* – MTA Matematikai és Fizikai Osztályának Közleményei 5 (1955) 481
5. www-nds.iaea.org
6. J. CSIKAI: *Photographic evidence for the existence of the neutrino* – Nuovo Cimento 5 (1957) 1011
7. J. CSIKAI, A. SZALAY: *The recoil effect of the neutrino in the beta-decay of ^6He* – Int. Conf. on Mesons and Recently Discovered Particles, Padova-Venezia, 22–28. Sept. 1957. IV.8–IV.6, 467–475
8. MEDVEZSKY L.: *Szalay Sándor* – Debreceni Szemle 4 (1994) 582
9. J. CSIKAI, A. SZALAY: *Effekt otdachi nejtrino v β -raspade He^6* – Zsurnal Experimentalnoj i Teoreticeszkij Fiziki 35 (1958) 1072
10. CSIKAI GY.: *A neutrínó visszalökő hatásának és az elektron-neutrínó szögkorrelációjának vizsgálata a He^6 beta-bomlásánál Wilsonkamrával* – MTA Matematikai és Fizikai Osztályának Közleményei 8 (1958) 245 (kandidátusi értekezés 1957)
11. J. CSIKAI, A. SZALAY: *The electron-neutrino angular correlation in the decay of He^6* – Proc. of the International Congress, Dunod, Paris, 1959, 840
12. CSIKAI GY., NAGY S.: *A nukleonstabil H^4 egzisztenciájának vizsgálata a $\text{Li}^7(n,\alpha)\text{H}^4$ reakciónál, 14,7 MeV-os neutronokkal* – ATOMKI Közlemények 8/1 (1966) 3
13. CSIKAI GY., NAGY S. – Acta Physica Hungarica, 21/3–4 (1966) 303
14. G. MARX: *Radiation Education* – Proc. Int. Symp., Debrecen, 21–24 August 2002, 104
15. P. BORNEMISZA-PAUSPERTL: *The angular distribution of α -particles in $^{20}\text{Ne}(n,\alpha)^{17}\text{O}$ reaction at 14.5 MeV* – ATOMKI Közlemények 8 (1966) 93, (egyetemi doktori értekezés 1966)
16. H. PRADÉ, J. CSIKAI – Nucl. Phys. A123 (1969) 365 (kandidátusi értekezés 1967)

HÍREK – ESEMÉNYEK

NOBEL-BÉKEDÍJ, 2005

A 2005. évi Nobel-békedíjat megosztva kapta a *Nemzetközi Atomenergia Ügynökség* (NAÜ) és *Mohamed el-Baradei*, a NAÜ főigazgatója. A Nobel-bizottság 2005. október 7-i oslói közleménye szerint a díjat a kitüntettek azokért az erő-

feszítéseikért kapták, amelyek egyrészt az atomenergia katonai alkalmazásának megakadályozására, másrészt a békés célú alkalmazások lehető legbiztonságosabbá tételére irányultak. A bizottság kijelentette: „A nukleáris fegyverek