



17. ábra. Az Airy-elmélet és a mérési eredmény összehasonlítása főszivárvány ($p = 2$) esetén. A számítás és a mérés polarizálatlan, vörös színű fényre ($\lambda = 650$ nm, $n = 1,467$) és $R = 5,25$ mm-re vonatkozik ($kR = 50749$). A függőleges vonal a (8) képletből számolt $\theta_c(p=2) = 154,04^\circ$ szórési szögnek felel meg. A mért és a számolt intenzitást az első csúcs intenzitásának egységében adtuk meg.

tapasztalattal. Később összehasonlítjuk az Airy-elméletet a következő fejezetben ismertetett, egzaktabb eredményekkel. Látni fogjuk, hogy az Airy-elmélet kvantitatíven is elég pontosan írja le a szórt fény intenzitásának szögfüggését. Jelentősebb eltérések csak kisméretű vízcseppek esetén ($R \leq 0,1$ mm), θ_c -nél jóval nagyobb szögértékeknél, illetve magasabb rendű szivárványok esetében adódnak. A másik hiányossága az Airy-elméletnek, hogy a kezdeti hullámfront mentén az amplitúdóeloszlást egyenletesnek veszi. Ezt a problémát csak a Maxwell-egyenletek megoldá-

sával kezelhetjük. A következő fejezetben vázoljuk azt az egzakt elméletet, amelyet a Maxwell-egyenletek alapján kapunk a szivárványra, mint szórási jelenségre.

A fejezet befejezésekként talán egyetérthetünk a következő gondolattal: csak csodálni lehet Airy tudományos előrelátását, hogy a sorfejtést harmadrendig végezte el, hiszen a fizikában leggyakrabban elegendő első rendig számolni. Munkájának értékét az is növeli, hogy a végső eredményében szereplő integrált nyilvánvalóan számítógép nélkül kellett kiszámítani.

Irodalom

- L.D. LANDAU, E.M. LIFSHIC: *Elméleti Fizika VIII (Folytonos közegek elektrodinamikája)* – Tankönyvkiadó, Budapest, 1986.
- J.D. JACKSON: *Klasszikus elektrodinamika* – TypoTeX, Budapest, 2004.
- A. BARTA, G. HORVÁTH, B. BERNÁTH, V.B. MEYER-ROCHOW: *Imaging polarimetry of the rainbow* – Applied Optics 42 (2003) 399–405
- G. HORVÁTH, D. VARJÚ: *Polarized Light in Animal Vision – Polarization Patterns in Nature* – Springer-Verlag, Heidelberg–Berlin–New York, 2003, p. 447.
- G.B. AIRY: *On the intensity of light in the neighbourhood of a caustic* – Transactions of the Cambridge Philosophical Society 6 (1838) 379–403
- L.D. LANDAU, E.M. LIFSHIC: *Elméleti Fizika II (Klasszikus erőterek)* – Tankönyvkiadó, Budapest, 1976.
- W.J. HUMPHREYS: *Physics of the Air* – McGraw–Hill Book Company, Inc., New York–London 1940, pp. 476–500, Chapter III.
- M. ABRAMOWITZ, I.A. STEGUN: *Handbook of Mathematical Functions* – Dover, New York, 1972.
- G.P. KÖNNEN, J.H. DE BOER: *Polarized rainbow* – Applied Optics 18 (1979) 1961–1965
- A szivárványról és más kapcsolódó témáról sok képpel illusztrált összefoglaló, és a többféle közelítő, illetve egzakt megoldásra kidolgozott, ingyenesen letölthető program található a <http://www.philiplaven.com/mieplot.htm> internetcímen.

MEGEMLÉKEZÉSEK

CSIKAI GYULA 75 ÉVES

Az Európai Fizikai Társulat 2005. május 16–20-ig Debrecenben tartotta XX. magfizikai szakkonferenciáját *Magfizika az Asztrofizikában II.* címmel. A konferencia nemzetközi tanácsadó testületében felmerült, hogy a *Fizika Világévét* e konferencián is meg kellene ünnepelnünk. Örömmel fogadták javaslatunkat, hogy ünnepelés céljából tegyünk egy történelmi visszatekintést: kérjük fel Csikai Gyula professzort, tartson előadást a béta-bomlásbeli neutrínó-visszalkódást demonstráló ötven évvel ez-



előtti kísérletéről. Az ünnepi ülésre beözönlött a konferencia résztvevőin kívül az ATOMKI apraja-nagyja is. Én elnököltem, és az előadást a következő szavakkal vezettem be:

„A következő előadással konferenciánk a Fizika Világévét ünnepli. Ez az előadás arról a kísérletről szól, amelyre az ATOMKI-ban úgy emlékezünk, mint az intézetben valaha is véghezvitt legjelentősebb tudományos tette. E munkán ketten dolgoztak: Szalay Sándor professzor, intézetünk alapítója volt a rangidős, és Csikai Gyula volt a »junior« kuta-

tató, aki ma Csikai professzor, s aki ugyan ma már nem mondható »junior«-nak, de kétségtelenül továbbra is fiatalos. Nagy örömről van köztünk, és előadást tart nekünk. Csikai Gyula több mint egy évtizedig itt dolgozott

Csikai Gyula 75. születésnapja alkalmából tanítványai és munkatársai szakmai cikkekkal tisztelegnek az ünnepelt előtt. Ezen értékes írásokból, a *Fizikai Szemle* jelenlegi számában adjuk közre a lehető legtöbbet. *Király Beáta* és *Raics Péter* cikkét később – utalva az alkalomra – közöljük.

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