

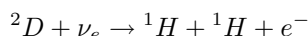
A napneutrínó-probléma megoldása

2001 június 18-i sajtóközleményében szenzációs bejelentést tett a Sudbury Neutrínóobszervatórium (SNO): a detektor működésének első két évében gyűjtött adatok gondos kiértékelése nyomán bebizonyosodott, hogy a Napból eredő neutrínók vártnál kisebb száma nem a napmodell hiányosságainak következménye, hanem azé, hogy a neutrínók egy része útközben más, nehezebben észlelhető neutrínófajtákká alakul át. Más szóval a három évtizedes *napneutrínó-probléma* (ld. Csillagászati Évkönyv 1993, 117. oldal) megoldása nem asztrofizikai, hanem részecskefizikai természetű.

A kanadai Ontario államban, kétezer méterrel a föld alatt, egy bányában 1999 májusa óta működő SNO a világ első olyan neutrínódetektora, amely lehetőséget ad a neutrínók különböző fajtáitól eredő jelek (statisztikai) elkülönítésére. Az SNO a Japánban már régóta működő Kamiokande és Szuper-Kamiokande detektorokhoz hasonlóan Cserenkov-detektor, azaz a nagyenergiás neutrínók detektoranyaggal való kölcsönhatása során keletkező, a közegbeli fénysebességnél gyorsabb elektronok Cserenkov-sugárzását érzékeli fotoelektron-sokszorozókkal. Ennek megfelelően küszöbenergiája magas, csupán a 7-8 MeV feletti energiájú neutrínókat érzékeli. E neutrínók túlnyomóan a Nap magjában zajló hidrogénfúzió egy meghatározott, a ^8B -t érintő mellékágában keletkeznek, ezért azokat "bór-neutrínóknak" is mondják. A reakcióban csak a neutrínók legszokványosabb típusa, elektron-neutrínók jönnek létre; régóta gyanítják azonban, hogy ezek egy része útközben átalakulhat (ahogy mondani szokás: átoszcillálhat) a neutrínók másik két típusává: müon- ill. tau-neutrínókká.

A Cserenkov-sugárzás legegyszerűbben úgy léphet fel, ha egy nagyenergiájú neutrínó egy elektront "jól meglök", azon rugalmasan szóródik (elastic scattering, *ES*-folyamat). Erre minden fajta neutrínó képes, ezért az ilyen folyamatok detektálásával mindhárom neutrínótípus mérhető, csak hogy nem azonos hatásokkal: az ilyen elven működő detektor az elektron-neutrínókra hatszor érzékenyebb, mint a többire. Ezért a japán detektor mérési eredményeit, melyek szerint a mért fluxus kb. fele a vártnak, nem lehetett egyértelműen értelmezni: az a lehetőség, hogy kizárólag elektron-neutrínókat látunk a vártnál kisebb fluxussal, éppúgy fennállhat, mint az, hogy a neutrínók kétharmada más típusokká oszcillál át, de ezeknek csak kis hányadát észleljük az egyharmadnyi elektron-neutrínó mellett. Szükség volt tehát egy független mérésre, amely ugyanakkor megmondja pl. csak az elektron-neutrínók fluxusát is. A radiokémiai detektorok (Homestake, Gallex, SAGE) ugyan csak az elektron-neutrínókra érzékenyek, küszöbenergiájuk azonban sokkalta alacsonyabb, így az általuk mért fluxusban nem a bór-neutrínók dominálnak, ezért ezek a mérések nem voltak alkalmasak a kérdés eldöntésére.

Az SNO újdonsága az, hogy a japán detektorral ellentétben közönséges víz helyett nehézvizet tartalmaz. A nehézvízben pedig az elektronok a rugalmas szóródás mellett más folyamatok révén is kölcsönhatnak az anyaggal. Az ún. töltött áram (charged current, *CC*) típusú kölcsönhatás



síntén Cserenkov-sugárzó elektronokat eredményez; ez a folyamat tehát alkal-

mas arra, hogy az elektron-neutrínók fluxusát külön, az egyéb típusoktól elválasztva is megmérjük. (Persze egyik fényfelvillanás olyan, mint a másik, de az irány- és energiaeloszlás alapján a *CC* ill. *ES* folyamatokból eredő elektronok statisztikailag megkülönböztethetők.) A kétféle mérési eredmény összevetésével pedig az említett ambivalencia feloldható. (Egy harmadik folyamat, a semleges áramok majd csak a detektor közeljövőbeni kibővítése után tesznek szert nagyobb jelentőségre.)

E mérések alapján az SNO (*CC*-folyamatban) mért elektron-neutrínófluxusa ($10^6/\text{cm}^2\text{s}$ egységben) $1,75 \pm 0,1$ -nek adódott, szemben a standard napmodell 5,05-os jóslatával. Hogy a különbség neutrínóoszillációval magyarázható, azt az bizonyítja, hogy a részben a μ - és τ -neutrínókra is érzékeny *ES*-folyamatból csak elektron-neutrínókat feltételezve kapott fluxus nagyobb ennél: értéke $2,39 \pm 0,4$ az SNO, $2,32 \pm 0,05$ a Szuper-Kamiokande adatai szerint.

Az eredmény szenzációs, de nem nevezhető váratlannak, hiszen több megfontolás alapján a kutatók többsége már évek óta valószínűtlennek tartotta a napneutrínó-probléma asztrofizikai magyarázatát (ld. Csillagászati Évkönyv-1996, 125. oldal). Sőt 1998-ban a Szuper-Kamiokande adatai alapján már kimutatták, hogy a kozmikus sugárzás földi légkörrel való kölcsönhatásából eredő μ -neutrínók egy része τ -neutrínókká oszcillál (Fukuda et al. 1998). Ezen eredmények és az új SNO adatok alapján a három neutrínó együttes tömegére a $0,05\text{eV} < m < 8,4\text{eV}$ korlátok adódnak. Így a neutrínók járuléka az Univerzum teljes energiasűrűségéhez (a kritikus sűrűségben, mint egységben kifejezve) $0,001 < \Omega_\nu < 0,18$.

Petrovay Kristóf

Források:

http://www.sno.phy.queensu.ca/sno/first_results/

Fukuda et al., Phys. Rev. Lett. 81, 1562 (1998)