

tott. Fényképekkel, videofelvétellel dokumentálható, hogy Kürti előadásán a hallgatóság első soraiban ült a Magyar Tudományos Akadémia volt elnöke is.

Akkor, 1973-ban Veszprémben nem volt demonstráció Kürti előadásához. A 450 tanárnak mégis máig maradandó intellektuális élményt jelentett az akkor hatvanöt éves professzor előadása. Nagyszerűen megtalálta a hangot a hallgatósággal, csillogóan szellemes volt. Példát mutatott, ötleteket adott a tanításhoz. A vörösrézben kialakuló kétféle hőmérsékletű rendszert például egy nemzetek közötti válogatott labdarúgó mérkőzés utáni fogadás hangulatának érzékletes leírásával illusztrálta. Ahogyan a vesztes csapat játékosai (alacsony hőmérsékletű rendszer) egymás között beszélnek meg a mérkőzés tanulságait, ugyanúgy a győztes csapat vidám játékosai (magas hőmérsékletű rendszer) is egymás között elevenítik fel, csak jóval élénkebben, a legszebb pillanatokat. A két különböző nemzetiségű csapat játékosai egymással eleinte nem beszélnek. Később, az egyre nagyobb mértékben adagolt szennyezés (italok) hatására fokozottan csökken a hangulatkülönbség (hőmérsékletkülönbség), s lassanként beáll a hangulati-hőmérsékleti egyensúly. Ekkor már bárki bárkivel hajlandó megvitatni a mérkőzés minden mozzanatát...

Kürti beszélt a közvéleményt mindig foglalkoztató hibernálás fizikai hátteréről, valamint a villamos energia szupravezető kábeleken történő továbbításának gazdasági vonatkozásairól. Jó volt hallani, amikor Bródy–Polányi-féle kriptoneelőállítási módszert emlegette annak a ténynek az illusztrálására, hogy egy-egy jó ötlet ügyes kiaknázásával Magyarországon is elő tudott már állítani olyan termékeket, melyek árát ő határozhatta meg a világpiacon. Kürtinek ez a példája az eltelt évek alatt sem vesztett aktualitásából.

Az előadás számomra legemlékezetesebb része azonban az volt, ahogyan Kürti egyéni látásmódjának megfelelően átfogalmazta a termodinamika második főtételét. Ezt mondta: "Egy rendszerben a környezetenél magasabb hőmérséklet spontán ki tud alakulni, a környezetnél alacsonyabb hőmérsékletet azonban mesterségesen kell előállítani." Ez a meghökkentő állítás első állításra úgy tűnt, mintha még ellentétes is lenne a második főtételnek kiegyenlítődsre vonatkozó szokásos megfogalmazásával. A spontán növekvő hőmérséklet gondolata meglehetősen új és szokatlan volt.

Ma is emlékszem, ahogy spontán elöntött a magasabb hőmérséklet: szinte belázasodtam, amint megpróbáltam beilleszteni Kürti állítását a második főtétel általam ismert megfogalmazásai közé. Segítségül, magyarázatképpen, Kürti a télen is spontán keletkező tüzeket említette, s még hozzátette: könnyű az energiából meleget csinálni, de nagyon nehéz hideget csinálni belőle.

Axiomatikus termodinamikán iskolázott agyának ez már sok volt. Annyira elkedvetlenített a pongyola megfogalmazás, hogy le is mondtam arról, hogy megpróbáljam megérteni. Mégsem hagyott nyugodni.

Sok-sok tépelődés után jöttem csak rá, hogy "miről is van szó". Az összes disszipatív folyamat irreverzibilitása megfogalmazható Kürti módján úgy, mint a spontán hőmérsékletváltozás egyirányúsága. Másrészt az összes exoterm kémiai reakció belefoglalható egy megfelelően általános definiált entrópia-növekedési tételbe.

Így világosodott meg bennem Kürti előadása nyomán nemcsak a termodinamika egy új, egyéni nézőpontja, hanem az is, hogy milyen bonyolult folyamat maga a megértés.

MILYEN MELEG A NAP KÖZEPE?

Számomra a Nap-neutrínó-kísérlet mindig megrázó volt. Lelesít, hogy a Természet valami rejtélyeset csinál, valami olyant, amit mi nem értünk. Érezzük, hogy a Nap valami lényegeset akar közölni. Ez a kísérlet módot kínál, hogy közvetlenül kommunikáljunk a Nap centrumával. Mindig hálát érzek, ha új igazság tárul fel. Ez szinte spirituális érzelem. A kísérletező ilyenkor prófétának tűnik számomra, aki a hegyek vadonába hatol, keresvén Isten üzenetét. És üzenet érkezett ettől az istenségtől, a Naptól, mondván: "Még mindig nem értetek meg engem."

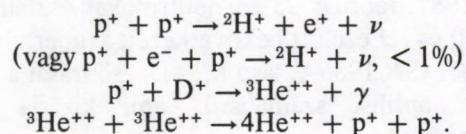
Donald D. Clayton: *The Joshua Factor* (1986)

Kürti Miklós laboratóriumában volt 28 évvel ezelőtt a Naprendszer leghidegebb pontja. Ez az írás arról szól, hogyan lehet megmérni a Naprendszer (majdnem mindig) legmelegebb helyének hőmérsékletét. (Az atombombák robbanásakor magasabb hőmérséklet képződik. Reméljük, nem sokáig.) Így kíván a szerző Kürti Miklósnak boldog 80. születésnapot.

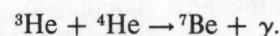
Marx György

ELTE Atomfizikai Tanszék

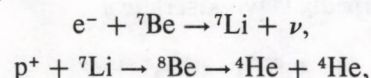
Iskolás tananyag, hogy a Nap hidrogénje a következő reakciólánc szerint fuzionál:



Ha a hidrogénhez sok hélium keveredik, akkor az utolsó reakció egy másik reakcióval verseng:



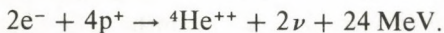
A Be atommag elnyelhet egy elektront (lassú gyenge átmenet):



vagy protont foghat be (kvantum-alagutazás a magas Coulomb-gáton át):

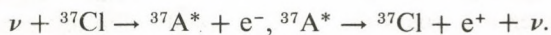


A végeredmény mindenképpen



Ha a Nap megfigyelt $L = 3,86 \times 10^{26}$ watt fényességét $\epsilon = 12 \text{ MeV}$ energiával elosztjuk, megkapjuk a Naptól induló neutrínóáramot (ν/s). A Földet érő neutrínó-áramsűrűség $L/4\pi r^2 = 8 \times 10^9 \nu/m^2/s$. Ezek a neutrínók gyengítetlenül érkeznek közvetlenül a Nap centrumából, onnan, ahol tudásunk szerint a Nap energiatermelését szolgáló magfolyamatok lejátszódnak.

Hogy a neutrínóáramot kimutassuk (hogy a napfénynek magfúziós eredetét bizonyítsuk), Ray Davis klór céltárgyat alkalmazott:

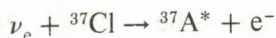


Az (egyetemi csillagászati előadásokon tanított) Standard Napmodell várakozása $7,8 \pm 1,5 \text{ SNU}$. (1 SNU = 1 szoláris neutrínó unit = 10^{-36} befogás/atom/s), azaz 1 radioaktív argon-atom keletkezése egy uszodányi mennyiségű C_2Cl_4 folyadékban. Davis kétévtizedes mérésorozatának időátlagolt eredménye $2,07 \pm 0,25 \text{ SNU}$. Úgy tűnik, hogy a daktai bánya mélyén végzett mérést megerősítik a japán Kamioka bánya mélyén ez évben más módszerrel nyert eredmények. Az alacsony érték viszont összeegyeztethetetlen a Standard Napmodell várakozásával!

Az ellentmondás feloldására sok (merész és még merészebb) hipotézis született.

Egyik lehetőség (Nicola Cabibbo szerint), hogy a neutrínók nem stabilak, hanem véges élettartammal elbomlanak. (Ehhez fel kellene tételezni, hogy a neutrínónak nyugalmi tömege van, mert $m = 0$ esetén a $v = c$ sebességgel haladó neutrínók élettartama $t = t_0/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ szerint a relativisztikus időmegnyúlás miatt végtelenre nyúlna.) Tény azonban, hogy 1987. február 23-án neutrínókat észleltek egy 160 000 évvel ezelőtt bekövetkezett szupernóva robbanásból (SN 1986A, lásd Kiss Dezső írását a Fizikai Szemle áprilisi számában), ami kizárja ezt a magyarázatot.

Bruno Pontecorvo hipotézise szerint a neutrínók nem bomlanak el véglegesen, hanem az egymástól különböző elektronneutrínó, müonneutrínó, tau-neutrínó állapotok közt oszcillálnak. (Ehhez véges periódusidő, ismét csak zérustól különböző neutrínótömeg szükségeltetik.) A Földhöz érkezve átlagosan a neutrínók egyharmada volna elektron-neutrínó állapotban, márpedig Davis kísérlete a



folyamatban csak elektronneutrínókat tud kimutatni. Így érthető, miért a várt neutrínójel egyharmadát érzékeljük. A probléma az, hogy reaktorokból származó neutrínók esetében ilyen oszcillációt nem tapasztaltak. (Rudolf Mössbauer írt erről a Szemlében.) Noha több paraméter (neutrínótömeg, oszcillációs frekvenciák) alkalmas kombinációjával a megfigyelt érték még kihozható volna, egy mért adat magyarázása több önkényes feltevés és több önkényes állandó bevezetése árán nem látszik meggyőzőnek.

Szmirnov feltevése szerint az elektronneutrínónak müonneutrínóvá történő átalakulása nem önként megy végbe, hanem azt a közeg elektronjain történő szóródás létesíti. Ez nem kevésbé önkényes feltevés, de legalább ellenőrizhető lehet: éjjel (amikor a Naptól jövő neutrínóknak a Földön is át kell haladniuk) kevesebb elektronneutrínó-jelet kellene kapnunk, mint nappal (amikor a Föld nem takarja el a Napot). Sajnos, a Davis-kísérletben hetekig kell gyűlnie a radioaktív ${}^{37}\text{A}^*$ atomoknak, hogy megszámlálhatók legyenek. A Kamioka-kísérlet azonban közvetlenül érzékeli a befogási reakció termékei által kiváltott Cserenkov-sugárzást, így ott (az érzékenységet fokozva) a nappal/éjjel effektus egyszer talán kimutatható lesz.

Hans Bethétől származik a feltevés, hogy a napfény energiáját magfúzió szolgáltatja. Tapasztalatból ismerjük a Nap tömegét ($2 \times 10^{30} \text{ kg}$) és életkorát ($4,69 \times 10^9 \text{ év}$). A Nap kezdeti hidrogénkoncentrációját úgy állítják be (23%), hogy a Nap fényessége 4,69 milliárd év múltán épp elérje a most észlelt $L = 3,8 \times 10^{26}$ watt teljesítményt. Ez a Standard Napmodell. A modell első ellenőrzése (egy megjósolt adat tapasztalati meghatározása) volna a neutrínófluxus mérése. Ez nem egyezett! Másik ellenőrzés a naprengek megfigyelése. A Doppler-eltolódás észlelésével a Nap felszínének kb. 5 perc periódusidejű oszcillációit mutatták ki. A Nap hidrodinamikai sajátrezgése a Nap tömegeloszlásától függenek. Az észlelések itt sem egyeznek a Standard Napmodell következtetéseivel. (Értelmezésükhöz sűrűbb Napcentrumot kell feltételezni.) Nem csoda, hogy Hans Bethe aggódni kezdett: megérdemelte-e a Nobel-díját? Igaz-e, amit tanítunk: valóban értjük-e, honnan ered a Nap melege?

Vajon csak csoda (ad hoc kölcsönhatások és önkényes állandók bevezetése) árán lehet megmagyarázni a Naptól érkező neutrínójel gyenge voltát? Vagy fenntartható a Bethe-féle alapfeltevés, csupán pontosítani kell a Nap modelljét?

A klór-atommagok a neutrínót csak 0,81 MeV küszöb felett fogják be, márpedig a Naptól a legtöbb neutrínó ennél kisebb energiával érkezik. A befogás valószínűsége a küszöb feletti energiatöbblet négyzetével arányos, a klór-detektor ezért csak a legmagasabb energiájú — elsősorban a ${}^8\text{B}$ izotóp bomlásából származó — neutrínókra érzékeny. A Standard Napmodell szerint a ${}^8\text{B}$ -elágazásból mindössze tízezer

napneutrínó közül csak egy származik, mégis ezek a nagyenergiájú (10 MeV körüli) neutrínók adnak a klórdetektor jelének kétharmadát. A ^8B -izotóp képződéséhez ^7Be és p^+ fúziója szükséges, ezt azonban a Coulomb-taszítás nehezíti. A Nap hőmérsékletén a protonnak messze nincs elég energiája a Coulomb-gát megmászásához, ezért csak kvantum-alagutazással tud bejutni a négyszeres töltésű berillium nukleáris vonzaskörzetébe. Az alagutazás valószínűsége igen erősen (exponenciálisan) függ az $E_{\text{gát}} - E_{\text{kin}}$ energiahiánytól, ezért igen érzékeny a hőmérsékletre (a proton behatolásának valószínűsége a hőmérséklet 10-ik hatványával arányos)! A Standard Napmodell szerint a Nap centrális hőmérséklete jelenleg 15,5 millió fok. (Itt játszódnak le a magfúziós folyamatok.) Ha gondolatban mindössze félmillió fokkal, 15 millió fokra hűtenék a Nap közepét, a borból származó neutrínók száma felére csökkenne. A rendkívüli hőmérsékletérzékenység miatt a Davis-kísérletet a Nap centrumába helyezett érzékeny hőmérőnek tekintetjük! (Nem is olyan drága hőmérő: ára fokonként néhány dollár.) Ha nem akarunk szokatlan feltevéseket bevezetni, azt kell mondanunk, hogy a Davis-kísérlet néhány százalékkal (közel egymillió fokkal) hűvösebbnek méri a Nap centrumát, mit azt a Standard Napmodell alapján vártuk: a centrális hőmérséklet megközelíti (de nem éri el) a 15 millió fokot.

Min múlik a Napcentrum hőmérséklete?

A Napban kifelé irányuló I fényintenzitást Δr útszakaszon a Nap anyagának κ opacitása (homályosága) csökkentti:

$$\Delta I / I = \kappa \rho \Delta r.$$

(Itt ρ a napanyag tömegsűrűsége.) I viszont a hőmérséklet negyedik hatványával arányos (Stefan-Boltzmann-törvény): $I = \sigma T^4$. Ezért

$$\Delta T / \Delta r = -\kappa \rho I / 4\sigma T^3.$$

A hőmérsékleti gradiens az opacitáson múlik! Színképelemzésből közvetlenül ismerjük a Nap felületi hőmérsékletét: 6000°. A Standard Napmodell ebből ki tudja számítani a centrális hőmérsékletet, ha ismeretes a Nap kémiai összetétele, mert ezen múlik az opacitás.

A Nap belső tartományaiban (néhány millió fok fölött) a Nap anyagát alkotó atomok legtöbbször (H, He, O, C, N) teljesen ionizált. A Napfelület megfigyelése szerint kis mennyiségben (0,073%) jelenlévő vas azonban nagyobb magtöltése ($Z = 26$) miatt a Nap belsejében is képes megtartani legbelső elektronjait. A fotonok nagyobb valószínűséggel nyelődnek el kötött elektronokon, mint szabad elektronokon. (Lendületfölslegüket ilyenkor átveszi a vas atommag.) Ezért a Nap belső opacitása nagymértékben a vas jelenlétén múlik. Kevesebb vas átlátszóbb napanyagot, ismert felületi hőmérséklet mellett alacsonyabb központi hőmérsékletet, végső soron gyengébb neutrínójelet eredményezne.

A Standard Napmodell a Nap anyagát ideális gáznak, ionok és szabad elektronok egyenletes keverékének tekintette. Pollack és Adler (USA), valamint Ruff Imre és munkatársai (ELTE) mutattak rá, hogy a nagy töltésszámú ($16+$, $24+$) vasionok az elektromos teret bizonyára polarizálják, besűrítik maguk körül, ez pedig eltéréseket adhat az ideális gáz viselkedésétől. Hasonló jelenséget sók (elektrolitok) vizes oldatában is megfigyeltek. A jelenség elméleti tárgyalását Debye és Hückel már megadta. Tekintsünk egy $+24e$ töltésű vasiont a negatív elektronok és pozitív ionok tengerében. Ennek potenciálját a következő egyenlet írja le:

$$\nabla^2 U = -\rho / \epsilon_0 = -\sum (eZ / \epsilon_0) n_z(r).$$

Összegezni a környezet minden iontípusára kell, beleértve az elektronokat is. Az ionok n_z számsűrűsége az U potenciáltól a barometrikus magasságképlet szerint függ:

$$n_z(r) \sim \exp[-Ze U(r)/kT].$$

Magas hőmérsékleten a kitevő kicsiny, ezért az exponenciális függvényt sorbafejthetjük:

$$n_z(r) = n_z(\infty) \cdot [1 - Ze U(r)/kT + \dots].$$

Írjuk ezt a potenciálegyenletbe:

$$\nabla^2 U = -\sum [eZ n_z(\infty) / \epsilon_0] \cdot [1 - Ze U(r)/kT].$$

Ha a vasion nincs jelen, a plazma makroszkopikusan semleges:

$$\sum eZ n_z(\infty) = 0.$$

A vasion által keltett potenciált tehát a következő egyenlet határozza meg:

$$\nabla^2 U = [\sum (eZ)^2 n_z(\infty) / \epsilon_0] \cdot U(r) \equiv r_D^{-2} U(r),$$

aminek megoldása adja a vasion által létesített potenciált:

$$U(r) = (24e / \epsilon_0 r) \exp(-r/r_D).$$

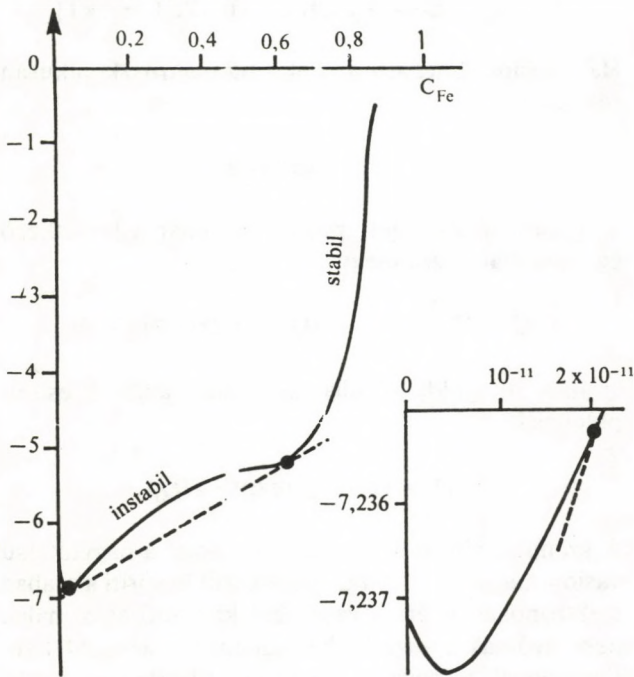
A számítás röviden azt fejezi ki, hogy a nagytöltésű vasion magához vonzza, maga körül besűríti a szabad elektronokat, ezért a vasionból kiinduló erővonalak nem nyúlnak a végtelenbe, hanem kb. az r_D Debye-távolságnál a negatív elektronsűrűsödésben véget érnek. Mindez egy potenciális energiakorrekciót ad a Standard Napmodell által figyelembevett tisztán kinetikus energiátághoz. Ennek a korrekciónak nagyon érdekesek lehetnek a következményei!

Ha a napanyag szabad energiáját csak a kinetikus tagokból számítjuk, az a vastartalom függvényében egyszerű lefutású, alulról nézve konvex görbét ad. A potenciális energiakorrekció kicsiny, de alulról konkáv. Ez azt eredményezi, hogy a szabadenergia-görbének van egy olyan érintője, mely két pontban érinti a görbét. A két érintési pont között a szabadenergia az érintő egyenes felett halad. Úgy látszik, hogy az eredeti napanyag ebbe a fölöttes szakaszba esik! Az ilyen állapot azonban instabil: a teljes szabadenergia mélyülhet, ha a napanyag szétválik a két érintési pont által jellemzett összetételű fázisra.

Egy hidrogénben gazdag és egy vasban gazdag fázis megjelenését kell várnunk. 2–3 millió fok fölött a magasan ionizált vas nem oldódik a Nap anyagában! (1. ábra.) Ezt a következtetést szemléletesen úgy mondhatjuk el, hogy a magas elektromos töltésű vasionok besűrítik maguk körül az elektrontengert, és ebben a sűrűbb elektronfelhőben jobban mélyül az energia, ha ott újabb vasionok gyűlnek össze, mintha hidrogén- és héliumionok lennének.

Ha a plazma elég meleg (hogy a vas magasan ionizálódjon), elég sűrű (hogy sűrű elektronfelhő legyen jelen), de nem túl meleg (hogy a hőmozgás még ne terítse szét egyenletesen az elektronfelhőt), akkor a (korábbi szupernóvarobbanás során) vassal beszennyezett hidrogénplazmából vasban gazdag cseppek különülhetnek el. A vascseppeket (homályosabb voltak miatt) kifelé lökné a sugárzás, de súlyuk nagyobb, ezért következtetéseink szerint azoknak le kell süllyedniök a Nap centrumába. A Nap testének

G MJ/mol egységben



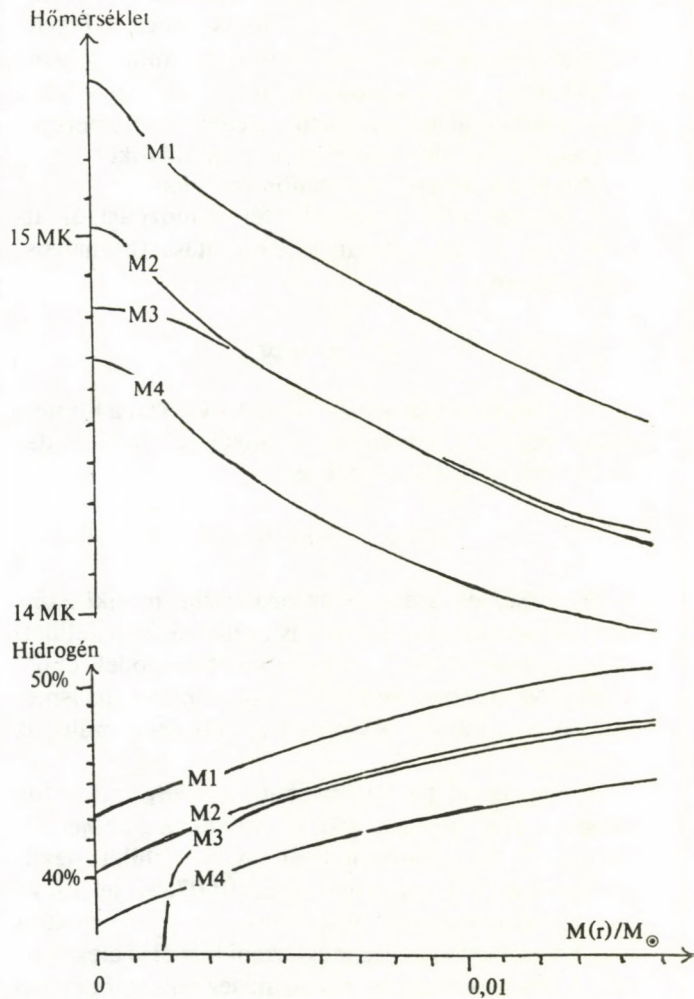
-H-He-Fe keverék ($T = 3,17 \times 10^6$ K)

1. ábra H-Fe keverék szabadentalpiája a Nap viszonyai közt, a Fe-koncentráció függvényében

nagy részéből ily módon kiürül a vas. A plazma átlátszóbbá válik. Ennek eredménye lehet azután az, hogy a Nap centrális hőmérséklete nem olyan magas, mint azt a (polarizációt elhanyagoló) Standard Napmodell alapján váránk.

Eddig kvalitatívan minden nagyon szép. A Nap centrumában lévő vasmagra a napengések frekvenciaspektrumából (tehát empirikusan) már Rouse (USA) is következtetett. De hogy az önkényes adatot és feltevést nem használó tökéletesített Napmodellt kvalitatívan kidolgozzuk, ahhoz újra le kell játszani (számítógépen) a Nap 4,69 milliárd éves történetét. Ehhez azonban elengedhetetlen a döntő szerepet játszó κ opacitások pontos ismerete.

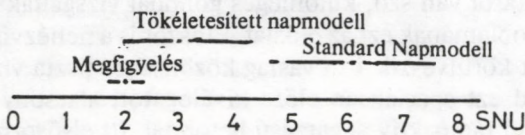
Az opacitások a különböző (H, He, O, C, N, ... Fe...) ionok színképvonalainak (elektronátmentéseinek) intenzitásától és szélességétől függenek. Ilyen adatok két intézetben vannak tárolva, ahol egészen más okból foglalkoznak többmillió fokos piszkos hidrogénfelhők előállításával és viselkedésével: Los Alamosban és a Livermore Radiation Laboratoryban.



2. ábra A hőmérséklet és a hidrogénkoncentráció alakulása a Nap belsejében (a Nap tömegének centrális 1%-ában) különböző modelleknél. M1: Standard Modell. M2: 15%-kal csökkent opacitás. M3: 15%-kal csökkent opacitás, vasmag. M4: 30%-kal csökkent opacitás. A Tökéletesített Modell M3 és M4 közt halad. (David Dearborn szerint.)

(Hazánkban ez kevésbé centrális kutatási téma.) A Napmodelleket e két helyen "futtatják". A polarizált plazma feltevésen alapuló modellt David Dearborn futtatta le Livermore-ban 1986, 1987, 1988 folyamán. Arra a következtetésre jutott, hogy a Nap centrális hőmérséklete csak 14,8 millió fok. Ez a Tökéletesített Napmodell a Ray Davis által alkalmazott klór céltárgy esetére $3 \pm 0,5$ SNU neutrínójelet vár, ami már összeférhet a Davis által korábban megfigyelt $2,07 \pm \pm 0,25$ SNU empirikus értékkel.

Kísérletileg megmértük a Nap centrális hőmérsékletét? Igazoltuk a napfény termonukleáris eredetét? A Tökéletesített Napmodell (bármilyen ad hoc feltevés, önkényes állandó bevezetése nélkül) kiküszöböli a Standard Napmodell két nagy anomáliáját, amelyet a naprengéseknel és a napneutrínóknál tapasztaltak? A kérdésekre egy-két éven belül tapasztalati válaszokat kaphatunk!



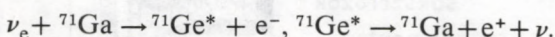
3. ábra A klór céltárgyat használó kísérlet neutrínójele SNU (10^{-36} Argon-képződés/klóratom/s) egységben.

1987-ben új kérdőjel merült fel. Davis ekkor nyert mérési adatai szerint a Napból érkező neutrínójel 1987-ben hirtelen a korábbi átlagérték kétszeresére (4 SNU körüli értékre) szökött fel. Eme (tudatos óvatosságból nem közölt) mérési eredményeknek több oka lehet:

1. számlálástechnikai statisztikai ingadozás;
2. a Nap valamire készül, amit nem értünk;
3. 1987-ben napfoltminimum volt, lecsökkent mágneses mezőkkel, ezért a (mágnesesnek feltételezendő!) neutrínók szabadabban kijuthattak;
4. egy korábban használt pumpa elromlása és egy új pumpa beiktatása változtatta meg a mérés (nem eléggé ismert) szisztematikus hibáját.

Mint említettem, publikálatlan eredményekről van szó. Most folyik az amerikai (Dakota) és japán (Kamioka) adatok ellenőrzése és keresztellenőrzése. Hogy a két mérésorozat megerősíti-e egymást, és mi lesz a megerősített érték (a régi 2 SNU, a néhány friss mérésben mutatkozó 4 SNU, a Standard Napmodell által várt 8 SNU-val összeférő vagy a Tökéletesített Napmodell által várt 3 SNU-val összeférő eredmény?), az valószínűleg kiderül, mire e sorok elhagyják a nyomdát.

A Nap belsejében folyó magfúzióról közvetlenül tudósító neutrínók (hőmérséklettől kevésbé függő) zömének megfigyelése mindenesetre igen kívánatos. Erre klór helyett gallium céltárgy alkalmazása ad módot:

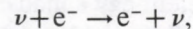


Mivel e reakció küszöbenergiája mindössze 0,236 MeV, ez módot ad majd minden neutrínó észlelésére,

ami a Napból érkezik. (Ezt a számot — mint azt a jelen írás elején megmutattam — pontosan meg tudjuk adni. Ezért mind a Standard Modell, mind a Tökéletesített Napmodell 110–120 SNU értéket vár.) Ilyen kísérlet két helyen is előrehaladott állapotban van. Az Appenineken egy német–olasz csoport 30 tonna galliummal a következő években kezd mérni, első eredményeket 1991-re vár. (Erről Rudolf Mössbauer a Magyar Tudományos Akadémián 1987-ben beszámolt, előadása a Fizikai Szemlében is megjelent.) A Kaukázusban egy szovjet–amerikai csoport 50 tonna galliummal ebben az évben kezd mérni, első eredmények talán már 1989-re megszületnek. A gallium-kísérlet a magfúzió létének bizonyítására, a klór-kísérlet a centrális hőmérséklet meghatározására szolgálhat.

Vajon a Nap neutrínófényben változó csillag? Ez új ismeret volna, aminek következményeit el sem kezdtük végiggondolni. De a Nap múltbeli neutrínó-sugárzásának időátlagát is megmérni készül egy amerikai csoport Los Alamosban. Molibdén neutrínóbe-sugárzásra technéciummá alakul át. A technécium élettartama százezer év. Így mélyenfekvő molibdén-ércek technéciumtartalmát meghatározva geológiai időskálán visszakövetkeztethetünk a Földet múltban ért neutrínófluxusra.

A most folyó Kamiokande és az előkészületben lévő Szuper–Kamiokande a neutrínó-elektron szórást is ki tudja mutatni.



a kilökött elektron által vízben keltett Cserenkov-sugárzást észelve. A gyors elektron a beérkező neutrínó lendületét veszi át. Így a japán kísérlet azt is "látja" majd (kb. már ma is képes rá), hogy a neutrínók valóban a Nap irányából érkeznek.

A Napból érkező neutrínók kimutatásáról 30 éve kezdtek beszélni. (Menyhárt Nórával 1960-ban írtuk róla az első cikket.) 30 év várakozás után, az életét ennek az egyetlen témának szentelő Ray Davis magányos erőfeszítése után végre úgy tűnik, egy-két éven belül választ kapunk kérdéseinkre. A Nemzetközi Neutrínó Konferencián (Bostonban, 1988 nyarán) a Nap volt az érdeklődés középpontjában. Reméljük, csakhamar talány helyett egymást megerősítő és kiegészítő mérésekről, azok alapján a Nap megbízható modelljéről számolhatunk be.

Ez a leendő modell vagy megerősíti a Napról alkotott (Napról tanított) elképzeléseinket, vagy gyökeresen átalakítja a csillagászati világlépet. Hiszen a Nap számunkra a csillag prototípusa. Napfénynek köszönhetjük életünket.

IRODALOM

- G. Marx–N. Menyhárt, Mitteilungen der Sternwarte Budapest 44 (1960)
 D. S. P. Dearborn–G. Marx–I. Ruff, Progr. Theor. Phys. 77 (1987) Ph. 12.
 I. Ruff–G. Marx–D. Dearborn, Astronomy and Space Science (1988)