

fizikai szemle

AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT LAPJA

Alapította Eötvös Loránd 1891-ben Mathematikai és Physikai Lapok néven

XXIII. évfolyam

4. szám

1973. április

NEUTRINÓ '72

B. Pontecorvo

Egyesült Atommagkutató Intézet, Dubna

Bevezetés

Sokat töprengtem azon, hogy is fogjak hozzá a „Neutrínó '72” konferencia eredményeinek összefoglalásához, mígnem eszembe jutott, hogy Dubnába való visszatérésem után barátaim bizonyára megkérdik majd: nos, milyen volt a magyarországi konferencia? Felelnem kell majd kérdéseikre, és elmondani a benyomásaimat. Elhatároztam tehát, hogy már most úgy fogok beszélni, ahogy néhány nap múlva dubnai barátaimnak számolok be a konferenciáról.

E kezdeti mentegetődzés után, hadd ismertessem azokat a szempontokat, melyek összefoglalásom alapjául szolgálnak:

Először: félreérthetetlenül tükröződni fog egy nagyfokú elfogultság a kiváló kísérleti munkák iránt.

Másodszor: csak kevés időt szentelek olyan problémáknak, melyekre vonatkozólag nincsenek új kísérleti adatok.

Harmadszor: túlnyomórészt olyan ambiciózus és nehéz kutatásokról fogok beszélni, melyek során valaki hatalmas erőkifejtéssel és kitartással próbál megtalálni és megmérni valamit, de nem lát semmit. Bizonyára észrevették, hogy a legtöbb kísérlet, amelyről a konferencián szó esett, ilyen jellegű volt. Az ilyen kísérletek aztán nagyon sokszor olyan eredményekre vezetnek, melyeket igen helytelenül „negatív”-nak neveznek. A konferencián szó esett számos ragyogó és bátor kísérletről, melyek igen alacsony felső korlátokat adnak bizonyos mennyiségekre. Ezek az eredmények nagyon értékesek. Jelentőségüket alig csökkenti az a tény, hogy az eredmények nem fogalmazhatók meg egyenlőségek formájában, hanem csak egy egyenlőtlenség jelen ($<$) keresztül. Meg kell mondanom, hogy ez egyre gyakoribbá válik, és éppen ez az egyik oka annak, hogy a kísérleti fizikusok élete nehezebb, mint az elméletieké.

A mi konferenciánk (legalábbis ami az első felét illeti) bátran felvehetné az „egyenlőtlenségek konferenciája” nevet. Számos kísérletről esett itt szó,

melyekben új effektusokat kerestek szinte hihetetlen érzékenységi szinten, de csak felső korlátokat, „negatív” eredményeket kaptak.

A $K_L^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ rejtély

Mint ismeretes, ez a nevezetes rejtély a következőkben foglalható össze: A kísérletek szerint:

$$\left(\frac{\Gamma_{K_L \rightarrow 2\gamma}}{\Gamma_{K_L \rightarrow X}} \right)_{\text{kísérleti}} = (5 \pm 1) \cdot 10^{-4} \quad (1)$$

(ahol X az összes lehetséges végállapotot jelenti)

$$\left(\frac{\Gamma_{K_L \rightarrow 2\mu}}{\Gamma_{K_L \rightarrow X}} \right)_{\text{kísérleti}} \leq 1,8 \cdot 10^{-9} \quad (2)$$

Elméletileg a következő alsó korlát kapható:

$$\left(\frac{\Gamma_{K_L \rightarrow 2\mu}}{\Gamma_{K_L \rightarrow 2\gamma}} \right)_{\text{elméleti}} \geq 1,2 \cdot 10^{-5} \quad (3)$$

(3) és (1)-ből adódik:

$$\left(\frac{\Gamma_{K_L \rightarrow 2\mu}}{\Gamma_{K_L \rightarrow X}} \right)_{\text{kís. - elm.}} \geq (6,0 \pm 1,2) \cdot 10^{-9} \quad (4)$$

ami (2)-nek ellentmond. Valamennyien tudjuk, hogy egy ilyen rejtélyt nagyon komolyan kell venni. A (3) elméleti korlát igen megbízható számítások eredménye, és a legjobb kísérleti szakemberek szerint, a kísérletekben sincs okunk kételkedni.

Számos elméleti kezdeményezés ismeretes. A számomra elfogadhatatlan kezdeményezések mellől szeretném kiemelni Christ és Lee indítványát, amely elfogadhatónak és egészen vonzónak látszik. Kiindulási pontként azt a tényt választják, hogy a CP-sértés miatt: $K_L = K_2 + \varepsilon K_1$. A $K_L \rightarrow 2\mu$ bomlás magyarázata során aztán, ezek a szerzők felteszik, hogy a bomlási valószínűség csökkenése a $K_1 \rightarrow 2\mu$ bomlásból ered. Mivel ε kicsi, a $K_1 \rightarrow 2\mu$ amplitúdónak jóval nagyobbak kell lennie a $K_2 \rightarrow 2\mu$ amplitúdónál, továbbá a $K^0 \rightarrow 2\mu$ bomlásokban erős a CP-sértés, és így a $K_1 \rightarrow 2\mu$ és $K_2 \rightarrow 2\mu$ bomlásokból származó végállapotok úgy interferálnak, hogy részben kiejtik a két-foton járulékat. Oakes elemzése során rámutatott, hogyha lenne egy kísérlet, amely a $K_s \rightarrow 2\mu$

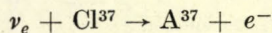
Összefoglaló előadás a „Neutrínó '72” konferencia első feléről. Balatonfüred, 1972. június 13. Fordította Gajzágó Éva.

bomlás tanulmányozását tűzné ki célul, és elérné a $\Gamma_{K_s \rightarrow 2\mu} / \Gamma_{K_s \rightarrow \pi} > 10^{-7}$ korlátot, akkor ez a kísérlet vagy alátámasztaná, vagy teljesen kizárná Christ és Lee elméletét. Hallottuk, hogy ilyen kísérletek elvégzésére már előkészületek történtek, pl. az Argonne Laboratóriumban, sőt Telegdi információja szerint a CERN-ben elvégzett $K_s \rightarrow 2\mu$ kísérletek már eredményre is vezettek. Ugyancsak Telegditől származik az az információ, mely szerint a Croning-csoport egy olyan kísérletet készít elő, amely már akkor is detektálná a $K_L \rightarrow 2\mu$ bomlást ha annak relatív valószínűsége $2 \cdot 10^{-10}$ -nél nagyobb. Ez a korlát egy nagyságrenddel kisebb, mint Clark és társai megelőző eredménye (2).

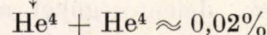
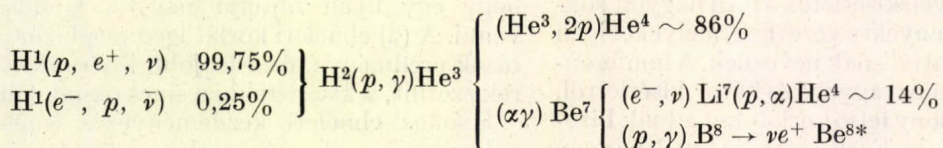
Nap-neutrínók

Mindenki ismeri a Brookhaven-i Nemzeti Laboratórium híres neutrínó-kísérleteit. Davis és munkatársai nevezetes kísérlete egyike azon kevés próbálkozásnak, melyben a kísérletezőknek egyszerűen nem akad versenytársuk. (Ugyanez mondható Reines $\bar{\nu}_e - e$ szórás kísérleteiről is, amelyekre még később visszatérek). Ha egy napon Davisnek kedve támadna becsukni a laboratóriumát, és néhány évet pihenéssel tölteni, a legkisebb kockázatot sem vállalná: nem akadna senki, aki időközben elvégezné ezt a kísérletet!

Szeretném az elméletiek számára néhány szóban megvilágítani a kísérlet méreteit és nehézségeit. Mélyen a Föld felszíne alatt, körülbelül 600 tonnányi C_2Cl_4 van elhelyezve egy hatalmas méretű medencében. Ha a Naphól származó neutrínók kiváltják a



reakciót, ennek eredményeképpen néhány A^{37} atom fog keletkezni. A keletkező A^{37} radioaktív nemes gáz, mely elkülöníthető a roppant mennyiségű C_2Cl_4 -től kevés argon-hordozóval feldúsított He-os „átmosással”. Ezután az argont elválaszt-



A következő táblázatban a Napban lezajló különféle reakciók által keltett neutrínók befogási hatáskeresztmetszetét tüntettük fel SNU-ban:

Neutrino forrás	maximális neutrino energia (MeV)	Várt beütésszám Cl-A detektorban (SNU)
$H^1(p, e^+, \nu)H^2$	0,42	0
$H^1(p, e^-, \bar{\nu})H^2$	1,44 (monoenergetikus)	$0,26 \pm 0,03$
Be ⁷	0,86 (90%) } monoener- 0,38 (10%) } getikus	$1,0 \pm 0,2$
B ⁸	14,1	4-7

ják a He-től és egy proporcionális számlálóba vezetik, amely az A^{37} K-befogásos bomlásából származó karakterisztikus sugárzást méri. Megértjük, milyen hihetetlenül érzékeny ez a kísérlet, ha arra gondolunk, mekkora nehézségeket okoz a számláló effektív háttérének olymértvű lecsökkentése, hogy a háttérbeütések száma havonta egy legyen! Az a benyomásom, hogy a szükséges ellenőrzéseket igen gondosan végezték el, és mint olyan ember, aki maga is sokat dolgozott proporcionális számlálókkal, kijelenthetem, hogy a brookhaveni számláló ilyen nagymértvű tökéletesítése igen mély hatást tett rám.

A mérési eredmények a következők: A keletkező A^{37} mennyisége: $(0,18 \pm 0,10)$ esemény/nap. A háttértől származó effektust részben kimérték, részben elméleti számításokkal határozták meg, eredményül $(0,12 \pm 0,04)$ esemény/nap adódott. A különbség tehát mindössze: $(0,06 \pm 0,14)$ esemény/nap. Így azt a következtetést kell levonnunk, hogy Nap-neutrínókat mindeddig nem detektáltunk. Annak valószínűsége, hogy Nap-neutrínókat detektálunk, kevesebb, mint $1/(5 \text{ nap}) \leq 10^{-36} s^{-1}(Cl^{37} \text{ atom})^{-1} = 1 \text{ SNU}$. (1 SNU = 1 Nap-neutrínó egység, (Solar Neutrino Unit).

Ebből az eredményből elég nagy bizonyossággal két asztrofizikai konklúzió is levonható. Mint azt később látni fogjuk, a Nap-neutrínók által kiváltott beütésszám legszámottevőbb része a B⁸ bomlásából keletkező nagyenergiájú neutrínóktól származik (kevés, de hatásos). Így az első konklúzió, ami Davis kísérletéből levonható az, hogy a Nap jóval kevesebb B⁸ neutrínót emittál, mint vártuk. A másik konklúzió az, hogy a Nap energiaháztartásában a C-N ciklus csak igen mérsékelt szerepet játszhat: ellenkező esetben az A^{37} keletkezésének valószínűsége jóval nagyobb-nak adódna.

A konferencián Bahcall előadása foglalkozott a Brookhaven-i kísérlet eredményeinek elméleti értelmezésével. Emlékeztetek a főbb pontokra: A Napban végbemenő H-ciklus termonukleáris reakciói és ezek százalékos gyakorisága:

Látható a már említett eltérés a mért érték és az elméleti várakozás között (ez utóbbi a táblázatban szereplő értékek összege).

Valóban elég komoly ez az eltérés? Elég ahhoz, hogy forradalmi következtetéseket vonjunk le a Napról vagy a neutrínó tulajdonságairól? Véleményem szerint *nem*. Nézzük meg jobban a táblázatot! Az A^{37} elméletileg várt mennyiségének legszámottevőbb része a B⁸ neutrínóktól származik, ami azonban a neutrínóknak csak igen kis hányada (nagyenergiájúak és ezért hatásosak). A Nap szer-

kezete szempontjából azonban azok a reakciók, melyek B^8 képződésre vezetnek teljesen lényegtelenek. A B^8 neutrínóktól származó A^{37} mennyiségét a jelenleg elfogadott szoláris paraméterek felhasználásával határozták meg. Nos, rendben van: az asztrofizikusoknak meg kell változtatniuk ezeket a paramétereket, vagy ezek közül néhányat, mindazonáltal a Nap éppoly fényes lesz, mint eddig. Komolyra fordítva a szót: úgy vélem, hogy a Nap az új paraméterekkel sem fog lényegesen különbözni attól, ahogy eddig elképzeltük. Ami tehát a jelen helyzetet illeti, semmiféle asztrofizikai „tragédia” nem történt: A Brookhaven-i eredmények alapján módosítani kell a szoláris paraméterek értékét úgy, hogy az elmélet és a kísérlet összhangba kerüljön.

Ha a táblázat fennmaradó részét tekintjük (B^8 -tól eltekintve), látható hogy ezen tagok összege már nem áll komoly ellentétben Davis eredményével (~ 1 SNU, konfidencia paraméter: 0,7). Így megismétlem következtetésemet: nincs komoly okunk azt hinni, hogy a Nap lényegesen különbözik attól, amilyenek eddig elképzeltük. Hangsúlyozom továbbá, hogy nem megalapozott az a feltevés sem, miszerint a neutrínók valamilyen nagyon különleges tulajdonságokkal bírnának.

Lássuk mit várhatunk a jövőtől? Már a közeli jövőben várhatók Prof. Davis kísérletének újabb eredményei. Tökéletesített számlálója segítségével vagy detektálja a Nap-neutrínókat, vagy eléri a berendezése által megszabott határt, ami $\sim 0,5$ SNU. Ez utóbbi esetben nem vonhatók le messze-menő következtetések. Mint Bahcall rámutatott, igazán meglepődnünk akkor kell majd, ha a mérések elérik a 0,3 SNU érzékenységet, és még mindig nem detektálunk neutrínókat. Ez a 0,3 SNU ugyanis a táblázat szerint éppen a „pep-neutri-

nók” várt mennyisége, amint azt a Nap luminozitásának és a végbemenő magfizikai reakcióknak az ismeretében egyszerűen megkaphatjuk.

Mi a teendő a jövőben? Davis említést tett arról a nagyon jelentős új neutrino-detektorról, amelyet készítettek. Ez a detektor egy Li vegyületet tartalmaz és a $\nu_e(Li^7, e^-)Be^7$ reakció a pep neutrínók detektálására alkalmas.

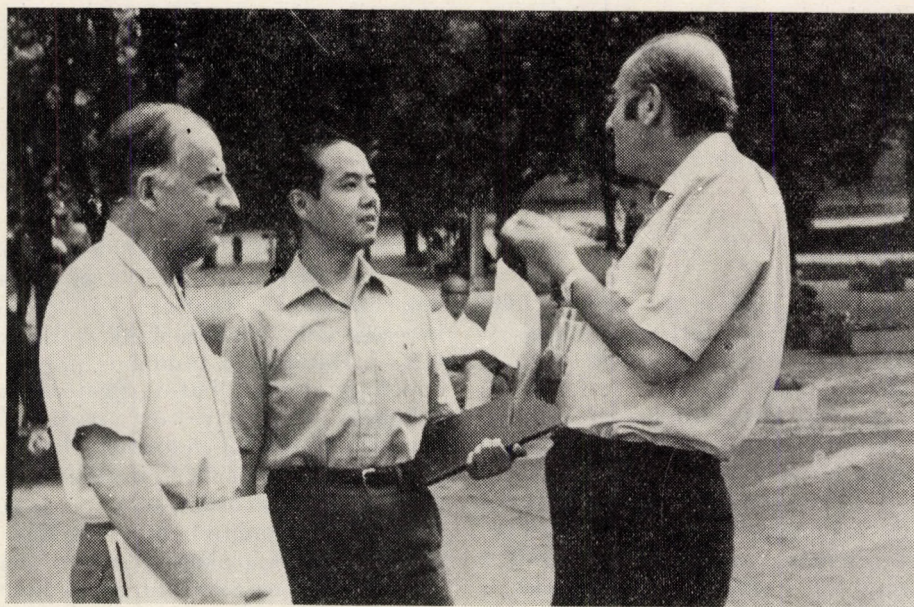
Véleményem szerint a neutrínóasztronómia távolabbi jövője feltétlenül szoros kapcsolatban áll majd az olyan hatalmas folyadék vagy szilárd test (nemes gáz?) detektorok fejlődésével, amelyek a detektált neutrínók energia- és irányeloszlásáról is számot tudnak adni.

Ha kiderül, hogy a Napból jövő neutrino-fluxus kisebb, mint azt a $H^1(pe^+\nu)H^2$ és $H^1(p, e\nu)H^1$ reakciók alapján várnánk, akkor valóban valami többé-kevésbé különleges magyarázatot kell kitalálnunk. Nem árthat, ha már most felkészülünk a legrosszabbra. De legyünk óvatosak: nem szabad nagyon komolyan vennünk ezeket a „körmönfont” magyarázatokat mindaddig, míg a tények valóban nem kényszerítenek erre.

A konferencián számos ilyen javaslatot hallhattunk.

Landé például a Nap pulzálásának lehetőségét vetette fel, és a Föld hőtörténeti korszakait a Nap neutrínó-történelmével hozta kapcsolatba („neutrínó-archeológia”).

Bahcall, Cabibbo és Yahil szerint a neutrínók hiánya onnan eredhet, hogy a részecskék egy jelentős hányada a Naptól a Földre terjedő útja során elbomlik. Ha egyáltalán szükség van magyarázatra — és ez a további kísérletektől függ — akkor ez a javaslat a lehető legegyszerűbben oldja meg a problémát. Az elképzelés kísérletileg is ellenőrizhető. Ha a nem-zérus tömegű neutrínók bomlani



Bruno Pontecorvo, Tseng Dao Lee és Robert Marshak Balatonfüreden

tudnak egy ν' neutrínó-szerű, zérus tömegű részecskére + fotonra, akkor meg lehet próbálni fotonok detektálását egy működő reaktor mellett. A diskusszió során Reines említette, hogy ő elvégezte ezt a kísérletet: a $\bar{\nu}_e \rightarrow \nu' + \gamma$ bomlásra azt kapta, hogy a $\bar{\nu}_e$ bomlási hossza nagyobb, mint 10^5 asztronómiai egység. (Ismét egy egyenlőtlenség!)

Hadd ejtsek még néhány szót a neutrínó-oszcilláció problémájáról! Az oszcilláció létezésének lehetőségét Dubnában, Moszkvában és Leningrádban vetették fel és tanulmányozták. Az oszcilláció — ha valóban fellép — egy érzékeny módszert ad a lepton-töltés megmaradás esetleges sértésének és a neutrínó-tömeg problémájának tanulmányozására. Az oszcillációk jelentőségét az eljövendő neutrínó-kísérletek értelmezésében már régen felismerték, és hangsúlyozni kívánom, hogy ezt a lehetőséget nem „a posteriori” találták ki a „hiányzó neutrínók rejtélyének” megoldására.

Bizonyított, hogy a lepton-töltés megmaradás sérülése és a neutrínó tömeg véges értéke $\nu_e \rightleftharpoons \nu_\mu$ típusú oszcillációkra vezet, hasonlóan a kaonfizikában fellépő $K^0 \rightleftharpoons \bar{K}^0$ oszcillációkhoz. Más típusú oszcillációk ($\nu_e \rightleftharpoons \bar{\nu}_e$ stb.) lehetősége kizárható, ha a természetben csak négyfajta neutrínó létezik.

1. Az oszcillációk fellépése a detektálható Nap-neutrínók számát egy 2-es faktorial csökkenti. Ez a faktor csak nagyon különleges esetekben vagy nagyon mesterkéltségi kísérleti feltételek mellett lehet 2-nél nagyobb.

2. Az oszcillációk létezése különböző módszerekkel kimutatható: a legegyszerűbb módszer lenne a pp vagy pep reakciókból származó Nap-neutrínók mért és várt beütésszámának összehasonlítása.

A neutrínó-tömeg problémáját tekintve: ha a két neutrínó tömege nagyobb, mint 10^{-6} eV, az oszcilláció fellép. Ez a módszer tehát több milliószor érzékenyebb, mint a neutrínótömeg szokásos meghatározása (ami még a legszerencsésebb esetben is — trícium bomlásánál — csak 10 eV-nál nagyobb tömegekre érzékeny). Miért ilyen érzékeny ez a módszer? Ennek fizikai okai a következők: a) amplitúdót mérünk — és nem egy amplitúdó négyzetét! b) a Naprendszer jellemző hatalmas távolságok.

Lepton-töltés megmaradás

Fiorini egy gyönyörű kísérletről számolt be, melyet a Mont-Blanc csúcsa alatt épített alagútban végeztek el, s melynek célja a $\text{Ge}^{76} \rightarrow e^- + e^- + \text{Se}^{76}$ reakció kimutatása volt. A forrás és egyúttal a detektor is egy $\text{Ge}(\text{Li})$ kristály ($\sim 70 \text{ cm}^3 \sim 400 \text{ gr}$) volt. A keresett folyamatból származó két elektron összes energiájának várható értéke 2,045 MeV: ennek az energiaértéknek a környezetét vizsgálták, de nem találtak csúcsot. A háttér beütések hatása csekély, mindössze 2 (keV)^{-1} volt 1000 óra alatt. Más energiatartományokban számos csúcs figyelhető meg, ami a természetes radioaktív elemek által tartalmazott különféle

szennyezéseknek tulajdonítható. Ez egyúttal azt is bizonyítja, hogy a berendezés hibátlanul működik. A kísérlet teljesen meggyőző és eredményül egy egyenlőtlenséget ad a Ge^{76} kettős β -bomlására:

$$T_{1/2} > 4,5 \cdot 10^{21} \text{ év} .$$

A lepton-töltést sértő amplitúdó legfeljebb egy százaléka a lepton-töltést őrző amplitúdónak. Hasonló eredményre vezettek a korábbi mérések is, melyek a Ca^{18} , Se^{82} , Te^{130} neutrínó-nélküli kettős β -bomlásait tanulmányozták.

Szeretnék megemlíteni egy új lehetőséget, amit ezen a konferencián hallottam azzal kapcsolatban, hogy esetleg valamelyik lepton-töltés multiplikatív kvantumszámként viselkedik. Mindenki tudja, hogy ez az elképzelés már régebben is felmerült, és számos kísérletet is javasoltak ami eldönthetné ezt a kérdést. Legújabban az ITEP-IHEP kollaboráció (Arbuzov és társai) indítványozta, hogy a NAL programba vegyék fel a $\bar{\nu}_\mu + e^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_e$ folyamat kutatását. Ez a folyamat — ha valóban megfigyelhető — közvetlen bizonyítéka lenne a multiplikatív lepton-töltés létezésének. Batáviában a $\bar{\nu}_e$ energiája ehhez bőven elegendő, és véleményem szerint ez a mérés a legalkalmasabb a multiplikatív lepton-töltés problémájának megoldására.

A lepton-töltés megmaradás elméletét Marx György foglalta össze érdekes előadásában. Szeretném kiemelni egyik érdekes javaslatát, amit ebben az előadásban hallhattunk: azt a lehetőséget, hogy a CP-sértő kölcsönhatás erőssége időben csökkenhet. Ez az ötlet számomra igen vonzónak tűnik: különféle állandók esetleges időfüggését már régebben is felvetették, de nagyon szerencsés választásnak találom ezt a feltevést éppen a CP-sértés állandójára alkalmazni. Véleményem a következőképpen indokolható: ha ez a feltevés valóban igaz, a Big Bang közelítés könnyen aszimmetriát adhat anyag és antianyag között, akkor is, ha az Univerzum barionszáma zérus (és nem kell új részecskéket bevezetni!).

Stabil nehéz leptonok?

Gerstein a Landsberg-csoport szerpuhovi munkájáról beszélve említést tett egy kísérletről, melynek célja nehéz, stabil ($\tau > 10^{-9} \text{ s}$) töltött leptonok keresése volt. Elképzeléseik szerint ezek a részecskék \pm töltéssel, a müonhoz nagyon hasonlóak és éppenúgy detektálhatók. Protonok magokkal való ütközése által kiváltott párképződésük hatás keresztmetszetéről feltették, hogy a Lederman-kísérlet analógiájára számítható. Ilyen tulajdonságokkal rendelkező töltött, nehéz leptonokat kerestek Szerpuhovban. A mérési eredményeket a müon-pár képződés adataira normált elméleti várakozással összehasonlítva, a következő határozott következtetés vonható le: az 1.—3,5 GeV tartományban nincsenek „stabil” nehéz leptonok.

A neutrínószórás témaköre a neutrínó-lepton és neutrínó-nukleon szórásokat foglalja magába. Meg kell mondanom, hogy a Weinberg elmélet igen nagy befolyást gyakorol erre a munkára. Az, hogy a gyenge kölcsönhatások fizikája napjainkban egyfajta „reneszánszát” éli, elsősorban az ő elméletének köszönhető. Hallottam, hogy a Taskenti Konferencián Pais „stratégiának” minősítette Weinberg elméletét. Nekem tetszik ez a meghatározás. A gyenge áramok régi problematikáját most igen kiterjedt kísérleti vizsgálatoknak vetették alá, reaktorok és gyorsítók segítségével, és a legtöbb kísérletet a Weinberg elmélet alapján értelmezik. Bizonyos folyamatok, például a $\nu_\mu - e^-$ szórás keresése valószínűleg nem lenne vizsgálat tárgya új elméleti bátorítás hiányában. Most azonban az ilyen típusú kísérletek első helyre kerültek a piongyarak elvégzendő kísérleteinek listáján. A Reines és társai által elvégzett kísérlet központi helyet foglal el konferenciánkon. Reines több mint 10 éve dolgozik ezen a témán. A kísérlet rendkívül nehéz és mint már említettem, ugyanúgy mint Davis a saját területén, Reines is monopól-helyzetben van. Miért olyan nehéz ez a kísérlet? Azért, mert reaktor energiákon a $\bar{\nu}_e - e^-$ rugalmas szórás nem rendelkezik nagyon jellegzetes tulajdonságokkal, és a háttér könnyen a várthoz hasonló effektusokat okozhat: például a radioaktív szennyezésekből származó fotonok által kiváltott Compton-elektronok stb. Így a háttér elleni harc a fő probléma, amit ötletes és bonyolult módszerekkel igyekeznek megoldani. Erre itt most nem térhetek ki, de hogy lássák a nehézségeket, emlékeztetek arra, hogy a keresett eseményekből mért beütésszám naponta egy! A mérések szerint ennyi a beütésszám akkor is, ha a reaktor működik, és akkor is ha nem: tehát nem vált láthatóvá, amit kerestünk.

A hatáskeresztmetszet felső korlátja a $\bar{\nu}_e + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e + e^-$ folyamatra hasadási $\bar{\nu}_e$ -val:

$$\sigma_{\text{kísérleti}} < 1,7 \cdot \sigma_{V-A},$$

ahol σ_{V-A} a V-A elmélet által jósolt hatáskeresztmetszet (csak töltött áramok), és a 3,5 MeV-nél nagyobb energiával rendelkező elektronok számát is a V-A elmélet által adott spektrum alapján határozták meg. Weinberg elméletében a semleges áramok jelenléte miatt más jóslat adódik a hatáskeresztmetszetre. Reines eredménye — ha a Weinberg modellel értelmezzük — megszorítást ad ezekre a paraméterekre, mint ezt Baltay Károly előadásában hallhattuk.

Reines előadása során megemlítette, hogy a közelmúltban sikerült javítania a kísérleti elrendezésen: megduplázta a szcintillátor tömegét anélkül, hogy a háttérrel növelte volna. Meggyőződése szerint egy éven belül „látni” tudja majd a folyamatot, ha $\sigma_{\text{kísérleti}} > \frac{1}{3} \sigma_{V-A}$. Kívánjunk neki sok sikert ehhez!

Pullia tegnapi előadásából (a CERN „nehéz” buborékkamrájának — Gargamelle — ν_μ és $\bar{\nu}_\mu$ adatai), és Baltay Károly előadásából (az összes adat kritikai áttekintése) képet kaptunk a semleges áramok kutatásának jelenlegi helyzetéről, a $\nu_\mu - e^-$, $\nu_\mu - N$ szórás és egyéb folyamatok eddigi ismerete alapján. A munka nagyon széles fronton folyik, elég megemlíteni, hogy csak a CERN-ben a Gargamelle által kapott neutrínóesemények száma legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint az egész világ Gargamelle előtti statisztikája! Az adatok elemzése még nagyon előzetes és részleges csak. A Weinberg-stratégia dominál. Baltay hangsúlyozta, hogy a semleges áramok által generált folyamatokban keletkező végállapotbeli hadronok és elektronok energia-spektruma erősen függ a Weinberg elmélet paraméterének értékétől.

Hadd foglaljam néhány szóban össze a semleges áramok kísérleti kutatásának eddigi legfontosabb eredményeit. (Szimmetrikusnak fogom nevezni a ee , $p\bar{p}$, $\bar{\nu}\nu$. . . stb. típusú semleges áramokat, és aszimmetrikusnak az $e\bar{\nu}$, $n\bar{1}$, . . . típusúakat.)

1. Aszimmetrikus semleges leptonáramok hiányát komoly kísérleti adatok támasztják alá (pl. dubnai kutatások: a $\mu \rightarrow e\gamma$, $\mu \rightarrow 3e$ folyamatok vizsgálata).

2. Ugyancsak meggyőző bizonyítékaink vannak az aszimmetrikus semleges hadronáramok fellépésével szemben (pl. bizonyos kaon-bomlások tiltottsága: $K_L \rightarrow 2\mu$, $K^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^-$).

3. Nincs perdöntő kísérleti bizonyíték, ami a semleges, szimmetrikus leptonáramok létezésére mellettszólna ($\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$), vagy a semleges, szimmetrikus hadron-lepton áramok létét bizonyítaná ($\nu_\mu + p \rightarrow \nu_\mu + p$, $\nu_\mu + p \rightarrow \nu_\mu + n + \pi^+$). Ilyen folyamatok nehezen adhatnak a töltött áramoktól származó hatáskeresztmetszetek 1/10-énél nagyobb járulékot.

A Weinberg modell jóslatai (megkövetelve legalább a szimmetrikus semleges áramok jelenlétét) igen közel állnak az ellenőrzéshez. A játszma még csak épphogy elkezdődött, de hamarabb, mint egy éven belül meglehet a válasz. Szeretném azonban megjegyezni, hogyha a semleges áramok lehetőségét kizárják is a kísérletek, a Weinberg stratégia akkor is megmarad.