

NEUTRINOA, UNIBERTSOAREN GAKOA

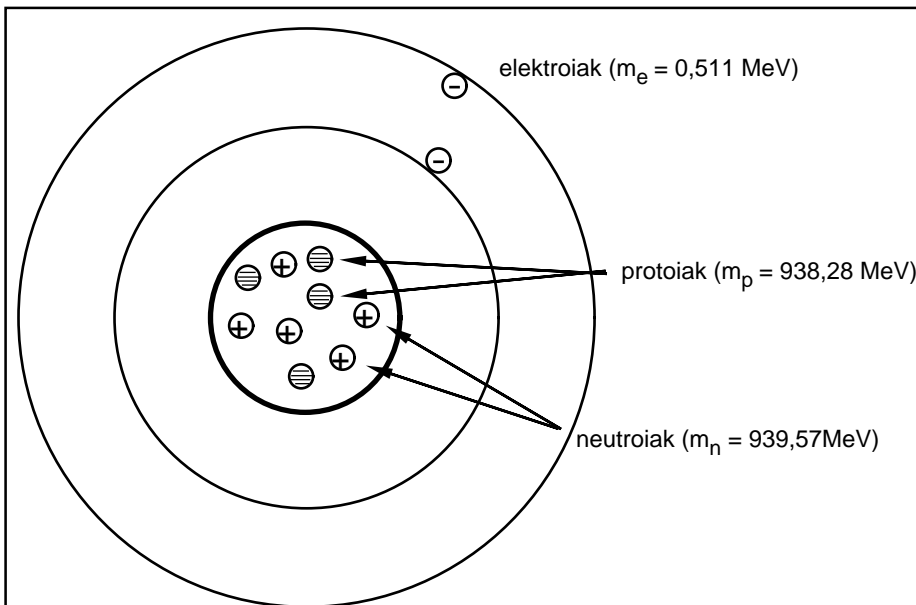
Jose Antonio Legarreta

Mileto-ko Leuzipo eta bere ikasle izan zen Demokrito filosofo greziarrek K.a. IV. mendean atomoaren kontzeptua aurkeztu zuten geroztik, urte asko igaro dira XX. mendearen hasiera aldean atomoaren barne-egitura

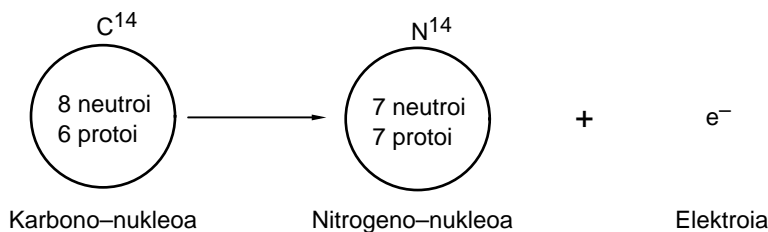
zehaztu arte. Atomoaren egitura ikerlari mordoxkak (Thomson, Rutherford, Bohr,...) teoria desberdinak plazaratu izan ditu eta gaur egun ondoko ideia daukagu; atomoa sistema planetarioaren antzekoa da, eguzkia-
ren lekuan nukleoa eta planeten ordez

elektroiak daudelarik. Beraz, atomoak bi zati ditu: nukleoa eta geruza. Nukleoan protoia eta neutroia daude, bertan atomoaren masa eta karga positiboa aurkituz. Geruzan, aldiz, elektroiak kokatzen dira, nukleoaren inguruko orbitaletan biratzen dutelarik.

Dena den, Henri Becquerel-ek 1896.ean zenbait elementuren nukleoei, desintegrazioan direnean, elektroiak igortzen zituztela detektatu zuen. Baina, nukleoan elektroiak ez badago, zer dela eta emititzen dituzte elektroiak? Galdera honi erantzun ahal izateko, atomoaren osagai diren protoi, neutroi eta elektroiaren masen baliorei so egin beharko genieke. Izan ere, neutroiaren masa protoiaren eta elektroiaren masen batura baino handiagoa da. Beraz, neutroiaren bidez, hots, neutroia "apurtuz", protoi bat eta elektroi bat sor daitezke nonbait. Ideia hau proposatu eta urte batzuetara nukleotik banandutako neutroiaren jokabidea aztertu zen. Inolako interakziopean ez dagoen neutroia 15en bat minuturen buruan desintegratu egiten zela ondorioztatu zuen, protoi bat eta elektroi bat sortuz. Hala ere, ez dugu pentsatu behar nukleo guztietako neutroiak desintegratu egiten direnik. Nukleoak gehiegizko neutroiak izatekotan, gehiegizko horiek desintegratuko lirarteke sobera dituen



Protoiak eta neutroiak nukleoan kokatzen dira, elektroiak beronen inguruan biratzen dutelarik. Agian batek baino gehiagok atomoaren egiturari sinplea deritzon arren, ikerlariak urte-mordoa eta makina bat esperimendu egin beharrean izan direla esan behar da.



H. Becquerel-ek 1896. urte inguruan nukleo erradioaktiboek β desintegrazio-prozesua aurkitu zuenean ez zuen pentsatu bere aurkikundearen denboran zehar astrofisikarientzat hain garrantzitsua izango zenik.

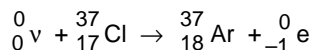


Gizateriaren historian bere fase guztietan ikusi izan den lehenengo supernoba da berau. Supernobaren leherketa Lurretik 170.000 argi-urtera suertatu da eta 10^8 eguzkiren argitasuna igortzen du.

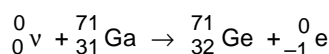


Neutrinoaren iheskortasunaren zioz, astrofisikariek oso tresneria ona erabili beharra dute eta beren ikertokiak meategi sakon eta babestuenetan kokatzen dituzte.

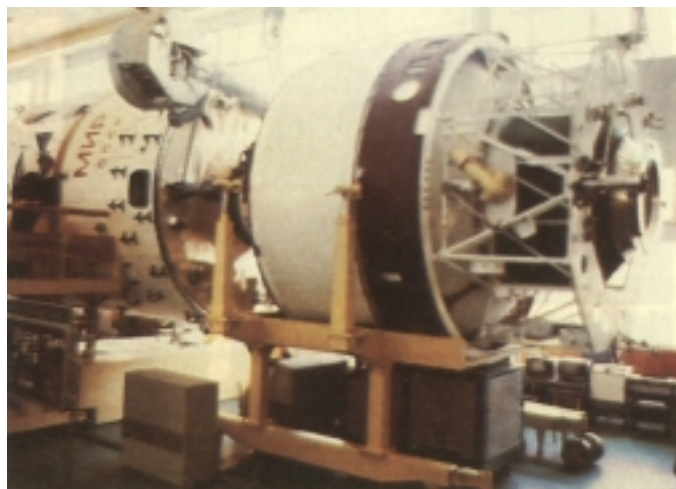
Neutrinoa detektatzeko, tresneria sofistikatua erabili beharraz gain, erreakzio egokia ere aurkitu behar da. Esaterako, R. R. Davies-ek erabilitako



erreakzioa gerta dadin neutrinoek 0,81 MeV-eko energia baino handiagoa izan behar dute. Egun,



erreakzioa zenbait naziotako ikertokietan egiten hasia da. 0,81 MeV baino energia txikiagoko neutrinoek ere suspertzen dute.



neutroiak desagertetazi arte. Nukleo bateko neutroia desintegratzean nukleoak protoi bat gehiago izango du eta elektroia egotzia izango da. Nukleoaren desintegrazio-prozesu honi β emisio deritzen.

Ondorengo urteetan zenbait nukleoren β emisio-prozesuaren energi balantzea egin zen eta energiaren eta masaren kantitateak erreakzioan zehar ez zirauela ikusi zuten ikerlariak. Jakinaenez, fisikaren ikuspegitik erreakzioan zehar energiak konstante iraun beharko luke.

Honen aurrean 1937an Wolfgang Pauli fisikari austriarrak erreakzioan falta zen energia β emisio-prozesuan ikusterik egon ez zen partikula berri batekin berekin zeramala esan zuen. Partikula berri honi oso ezaugarri bixiak leporatu zitzaizkion, makina bat nukleoren β emisioan detektatu ez arren. Ez zuen ez kargarik ez masarik, eta argiaren abiaduraz higitzen zen. Ezaugarri hauek kontutan hartuta, ez da harritzekoa garai hartan zegoen tresneria zela bide detektatu ez izana. Enrico Fermi-k partikula

berri honi neutrino izena jarri zion eta berak egindako kalkuluen arabera nukleo erradioaktiboek igorritako neutrinoek Lurra eta Eguzkiaren arteko distantzia baino 10^9 aldiz handiagoa den ur-multzoa zeharkatuko lukete inolako elkarrekintzarik izan gabe. Iragarritakoaren aurrean neutrinoaren detektatze-lana oso lehiatsua izango zela pentsatu zen. Beraz, lan teorikoa utzi eta esperimentazioari ekin zioten fisikariek.

Garai hartan fisio bidezko erreaktore nuklearren ikerkuntza oso aurre-

ratuta zegoen. Jakina denez, erreaktore nuklearretan erabiltzen den uranio elementuaren desintegrazio-prozesuan zehar elementu betaigorleak sortzen dira. Hortaz, neutrino-iturri ezin hobe aurkitua zutelakoan, detektatze-prozesuari hasiera eman zioten. 1946an Bruno Pontecorvo-k neutrinoak detektatzeko lehenengo saioa prestatu zuen. Baina kale egin zuen; ez bait zuen ezer detektatu.

Partikula-fisikan egindako aurrerapausoak zirela eta, neutroiaren desintegrazioaren ondorioz neutrinoak sortu beharrean antineutrinoak sortzen zela frogatu zuten fisikariek. Eta Pontecorvo-ren saioa neutrinoak detektatzeko zen.

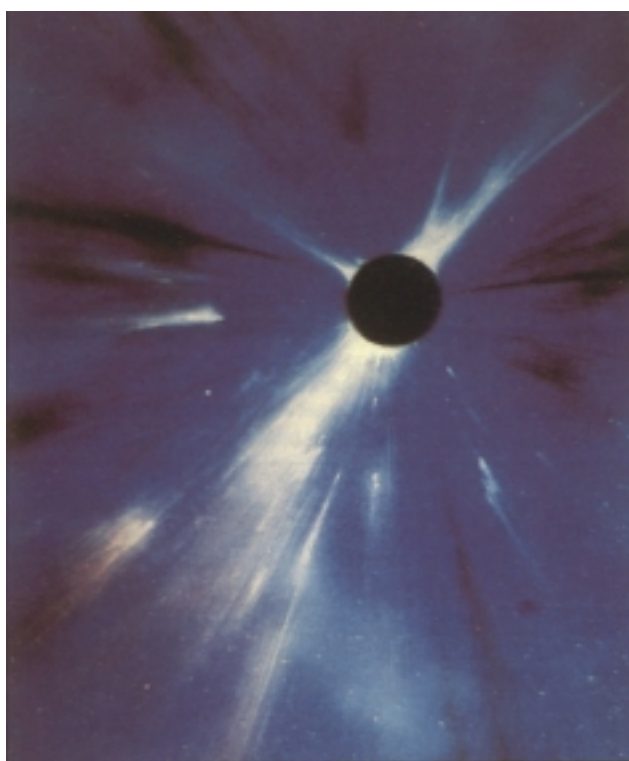
Clyde L. Cowan-ek eta Frederick W. Reines-ek B. Pontecorvo-ren saioaren berri izan zutenean, Estatu Batuetako Los Alamos ikergunean

antineutrinoak detektatzeko esperimentua proiektatu zuten, berorretarako Hegoaldeko Karolina-n kokaturiko erreaktore nuklearra erabili zutelarik. Erreaktore nuklear honek 10^{13} antineutrino zentimetro karratuko eta segundoko emititzen zituen. Beraz, neutrinoaren materiarekiko elkarrekintza oso urria izan arren, hainbeste neutrinotatik bat edo beste detekta zitekeela pentsatu zuten. Izpi

kosmiko eta erreaktore nuklearraren hondo-erradiazioaren interferentzi fenomenorik egon ez zedin, detektagailua metal- eta lur-geruza batez babestu eta meategi sakon batera sartu zen. Hiru urteren buruan beren ahaleginen ordaina jaso zuten. 1956.ean orduko hiru antineutrino detektatu zituzten. Izan ere, 25 urte igaroak ziren Pauli-k partikula berri honen existentzia iragarri zuenetik.

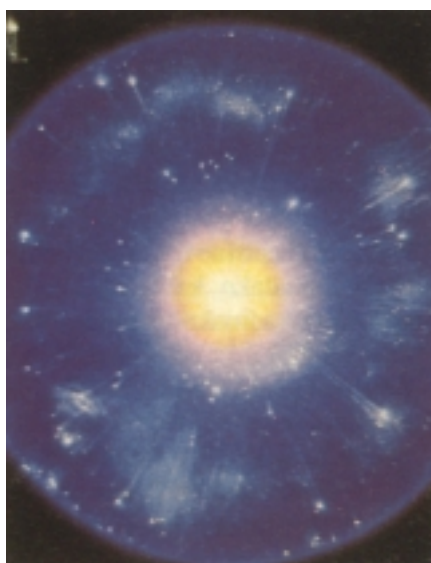
Fisikarientzat ondorengo erronka neutrinoak harrapatzea zen. 1956.etik aurrera astronomiaren gorakada zela eta, izarren ezagutzan aurrerapauso handiak eman ziren; hala nola, izarren osagai nagusia hidrogenoa zela frogatu zen, gehienetan mäsaren %70 osatuz eta izar-energia barnean gertatzen diren fusio-erreakzioetan sortzen zela ere bai, neutrino mordoxka sortuz. Eginiko kalkulu teorikoen arabera Eguzkitik Lurrera 10^9 ren bat neutrino orduko eta zentimetro karratuko heltzen zaizkigu. Dena dela, antineutrinoaren aurkikuntza korapilotsua izan bazen, eguzkitiko neutrinoen detektatze-prozesua ere lehiatsua izango zela espero zen.

1955az geroztik Bruokharen National Laboratory-ko Raymond R. Davis ikerlari amerikarra burubelarri sartu zen eguzkitiko neutrinoen ikerkuntzan. 1968an lehenengo emaitzak plazaratu zituen eta kalkulu teorikoek iragarri zuten neutrino-kopuruaren erdia baino gutxiago neurtu zuen Davis-ek. Emaitza honen aurrean ikerlariak era guz-



Astrofisikarien ustez Sanduleak izarra lehertu, neutroi-izarra sortu eta 5 bat orduren buruan bere egonkortasuna galduko zukeen, konprimatuz eta abiadura handiz biratuz zulo beltza sortu arte. Beronen frogabide neutrinoak dugu eta 1987A supernobaren leherketa dela eta detektaturiko bigarren neutrino-multzoa zulo beltza sortu denaren frogatzea da nonbait.

Unibertsoa gaur egun hedatzen ari da, baina



agian neutrinoek gelditu egingo dute hedapena. Neutrinoak 100 eV-eko masa edo handiagoa izatekotan, unibertsoaren uzkurpen-prozesua gertatuko delakoan daude adituak. Dena dela, 10^8 urtek —unibertsoaren adina— igaro beharko lukete uzkurpena hasi ledu. Esan bezala, ikerlariak 30 eV ($5,4 \times 10^{-35}$) kg inguruko masa leporatzen diote neutrinoari.

tietako azalpenak plazaratu zituzten. Batzuen eritziz, eguzkairaren barnean gertatzen den fusio-prozesua azaltzeko eredu teorikoa baztertu behar zen. Beste batzuek neutrinoaren masa ez zela nulua esaten zuten.

Gaur egun neutrinoaren auziak pil-pilean dirau eta proiektu bat baino gehiago darabilte fisikariek. Esaterako, galio elementuaren bidezko detektagailuez egindako zenbait saiok emaitza baikorrak erakutsi ditu. Heidelberg-eko Max Planck fisika nuklearraren institutuan aurreratu samarturik daude galio bidezko detektagailuetan oinarrituriko esperimentuak. Bestalde, 1990.aren ingururako Italiako Gran Sasso tunelean galioaren bidezko tresneria sofistikatu instalatuko omen dute. Sobietar Batasunean fisikariek energia txikidun neutrinoen ikerkuntzan dihardute. Ikusten denez, ez dago proiektu faltarik, eta oso itxaropentsu egon gaitezke neutrinoaren auzian.

Izan ere, azken urteotan astronomia zein astrofisikaren alorretan egindako aurrerapausoek agerian utzi dute unibertsoaren ezagutzan neutrinoen rola gero eta nabarmenagoa dela. Berriki astrofisikariek izarren eboluzioa nola suertatzen den azaltzeko eredu teorikoa lortu dute, gorabehera batzuk oraindik azaltzeko dauden arren. Orainsu neutrinoek izarren eboluzioan garrantzi handia dutela frogatu da. Izarra jaio eta beren osagai nagusi den hidrogenoaren fusio-erreakzioak hasten dira, helioa sortuz. Hidrogenoa agortu eta helioa fusionatu egiten da. Eta horrelaxe segitzen du izarrek bere eboluzioan erregaia agortu arte. Eboluzioaren azken aroan protoiak eta elektroiak elkartu egiten dira, neutroiak eta neutrinoak sortuz. Neutrinoek une horretan izar barnetik alde egiten dute argiaren abiaduraz eta espazioan zehar higitzen dira. Une horretan izarra lehertu egiten da eta supernobaren leherketa izenaz ezagutzen da fenomeno hori. Neutrinoen ikuspegitik izar baten supernobaroa eta

bere leherketa oso garrantzitsuak dira; alde batetik bi une horietan neutrino franko sortzen delako eta, bestetik, izarren energiari gehien gehiena berekin daramatelako.

1987.eko otsailaren 7an supernoba baten leherketa lehenengo aldiz detektatu eta Japonia, Sobietar Batasuna, Italia eta Estatu Batuetako neutrino-behatokietako ikerlariek martxan ipini zuten beren tresneria. Neutrinoen "ehiztariak" lau ordu t'erdiko tartean bi neutrino-multzo detektatu zituzten eta bi multzoak detektatu izanaren zergati zehatzik jakin ez arren, gertakari honen inguruko ikerlanak aurrera doaz. Supernoba honen neutrinoen bidez, unibertsoaren jatorria eta geroa jakin genitzake non-bait.

Gogora dezagun unibertsoa ez dela estatikoa eta, Big Bang edo leherketa handiaz geroztik, etengabe hedatzen ari dela. Baina, gaur eguneko astrofisikariek ondoko galdera darabilte buruan: unibertsoa etengabe hedatuko al da ala hedatzeari utzi eta uzkurto egingo da?. Galdera honi erantzuteko unibertsoaren materia- dentsitatea eta bere hedapenaren intentsitate edo erritmoaren arteko erlazioa ezagutu beharko genuke. Hedapenaren intentsitatea unibertsoaren dentsitatearen funtziopean dagoenez, dentsitatearen balio jakin bat dagokio; balio kritiko deritzona.

Astrofisikariek eginiko garapen matematikoen arabera unibertsoaren dentsitatea bere balio kritikoa baino 10 aldiz txikiagoa da. Beraz, grabitate-indarrak ez du unibertsoaren hedapena geldituko. Dena den, Big Bang-en arabera leherketa handia suertatu zenean sortutako protoi eta elektro bakoitzeko 10^9 neutrino sortu ziren eta, beraien energia txikia izan arren, gaur egun oraindik unibertsoan zehar higitzen ari dira, lehen esan bezala materiarekin oso gutxi interakzionatzen dutela eta. Eta gainera unibertsoaren jaiotzaz geroztik gaur egunerarte denboraldian (15×10^9 urte) sortu den neutrino-mordoa kontutan hartuz eta neutrinoak masarik izango balu, uni-

bertsoaren masa neutrinoen egongo bide litzateke, hots, unibertsoak leporatu ohi zaion masaren bikoitza izango luke, dentsitatea balio kritikoa baino handiagoa izango litzatekeelarik. Beraz, uzkurpen-prozesua susper liteke.

Baina, neutrinoek ba ote dute masarik? Neutrinoekin egindako esperimentuak urri direla eta, gaur egun astrofisikariek ez dute froga sendorik auzi honetan beren emaitzak ematen dituztenean. Orainsu arte neutrinoek masarik ez dutela uste izan arren, 1980.ean Moskuko Unibertsitateko fisikariek buruturiko esperimentu batzuk aspaldiko eritzi hori okerra izan daitekeela plazaratu dute. Esperimentuotan lortu dituzten emaitzen arabera neutrinoari ($27,9 \text{ eV}$) $5 \times 10^{-35} \text{ kg}$ -ko pausaguneko masa leporatu diote. Nahiz eta ezagutzen ditugun gainerako partikulen masekin alderatuz oso txikia izan, unibertsoko neutrinoen dentsitatea (10^9 v/m^3) handia denez, neutrino guztien masa izar guztiena baino handiagoa izan liteke. Texas-eko unibertsitateko fisikarien ustez neutrinoaren masa esaterako $5 \times 10^{-34} \text{ kg}$ -koa izango balitz, galaxien eraketa bestelakoa izango litzateke eta beronek unibertsoaren hedapen-prozesuari nabarmenki eragingo lioke. Hortaz, kontura gaitezen neutrinoaren masa kalkulaterakoan egin beharreko esperimentuak zehaztasun handiz burutu beharko direla.

Bestalde, leherketa handiaren ondorioz sortutako neutrinoak detektatzerik izango gabenu, Big Bang teoriak unibertsoaren lehenengo segundorako auresaten dituen ideiak baieztatu genitzake. Ondikoz neutrino horiek oso energia txikia dutenez, zailak izango dira detektatzen gaur eguneko tresneria dela bide. Askoren aburuz neutrino "masa iluna" da, zeinak unibertsoaren hedapena geldituz eta uzkurpena suspertzeko moduko grabitazio-erakarpina sor bait dezake. Somatzen denez, neutrinoen astronomiaren hastapenean gaude. 