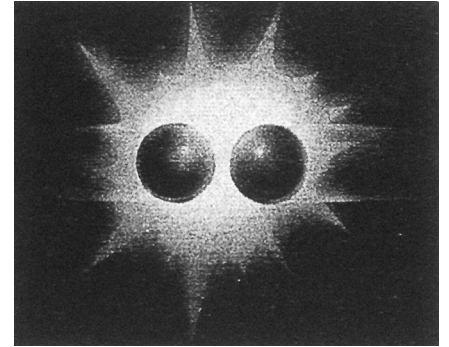


ANTIMATERIA FIKZIOA OTE?

Jose Antonio Legarreta

Jakina denez XX. mendearen hasiera aldean ALBERT EINSTEINEk Erlatibitate Teoria-ren bere "Teoria Berezia" (1905) eta "Teoria Orokorra" (1916) izeneko ikerlanak plazaratu zituen, mundu makroskopikoan pentsamolde-aldaketa gertatu zen. Teoria honek irauli egin zuen Newton-en mekanika klasikoa eta Fisikaren Aro berria jaio zela esan genezake.

XIX. mendearen bukaeran fenomeno mikroskopioak —espektroak batez ere— ikertzean mundu makroskopioa deskribatzeko legeek porrot egin zutela jakinda, mundu mikroskopikoaren fisika garatzeko mekanika berria behar zela konturatu ziren fisikariak. 1925.ean ERWIN SCHRODINGERek mekanika berri horren oinarriak finkatu zituen, Uhin-Mekanika jaiotzeko zelarik. Uhin-Mekanika, Mekanika Kuantikoaren lehenengo formulazioa izan zen. Beraz, Erlatibitatearen-Teoria eta Mekanika Kuantikoa, XX. mendeko fisikaren lorpen handitzat hartzen dira. Edozein fisikariren ametsa, teoria biok batzen dituen teoria lortzea da.



Gizakiok nolakoak garen jakinda, antimateria xede militarretarako erabiliko dela antzeman daiteke. Esaterako, misilak detektatzeko eta suntsitzeko antimateriaz baliatu daiteke.

Hasieran, Dirac-ek, gainerako fisikarien antzera, emaitzarik ulergarriena aukeratu zuen. Baina laster, balio negatiboko energi mailen aukera aztertzea erabaki zuen. Zer gertatuko litzateke energi maila hauek baleude?

Einstein-en ekuazioetako baten arabera, m masa eta p momentua dauzkan partikula baten energia ondoko formularen bidez kalkula daiteke:

$$E^2 = m^2 \cdot c^4 + p^2 \cdot c^2$$

non, E , partikularen energia
 m , partikularen masa
 c , argiaren abiadura eta
 p , partikularen momentu lineala diren.

Har dezagun gure elektroien kasua. Energia zinetikorik ez daukanez (gogora dezagun elektroia hidrogeno-atomoari lotuta dagoela), honako ekuazioa dugu:

$$E = m \cdot c^2$$

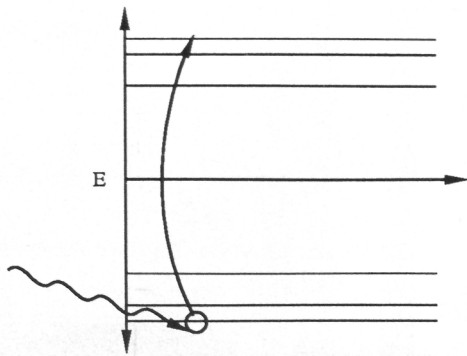
Beraz, elektroien energi mailen balioak mekanika kuantikoaren alderdi erlatibistaren ikuspuntutik kalkulatzeko

DIRAC-EN PARTIKULA-ITSASOA

XX. mendearen hasieran E. SCHRODINGERek hidrogeno-atomoaren elektroiaren deskribatzeko aurkitu zuen ekuazio matematikoa, esperimentera lortutako emaitzekin bat zetorrela frogatu zen; baina, beti ere, erlatibitatearen teoria kontutan hartzen ez bazen. Hortaz, mekanika kuantikoa (mundu mikroskopikoa deskribatzeko tresna) eta Erlatibitate Teoria (mundu makroskopioa deskribatzeko tresna) batzeko edota bateratzeko zailtasunak areagotu egin ziren.

Esanak esan, PAUL ADRIEN MAURICE DIRACEk energia handiko partikulen deskribapen matematiko-kuantikoa lortzekotan, mekanika-

kuantikoa eta erlatibitate-teoriaren arteko erlazio-ekuazioen bat aurkitzeko ekin zion. Beraz, teoria biok bateratzeko asmoak bultzatuta formula eta ekuazio matematikoak garatu zituen. Hidrogeno-atomoaren elektroien energi mailen balioak kalkulatzeko, bi ebazpenekin egin zuen topo: bata negatiboa eta bestea positiboa bait ziren. Gure ohizko logikaren arabera, energiaren baliorik txikiena 0 da eta handiena ∞ . Hau da, balio negatiboak alde batera uzten ditugu. Izan ere, fisikariek balio negatibodun energi maila posibleak ahaztu egin zituzten eta denboraren poderioz argitu ziren kontu matematikoak zirela pentsatzea nahiago izan zuten. Gainera zer egin zezakeen 1931. urteko fisikari batek energiaren balio negatiboa topatzean?



Energi maila negatibotik energi maila positiborainoko tartea

rakoan, $-m \cdot c^2$ -tik $+m \cdot c^2$ -ra bitartekoak direla ikusten da.

Fisikari britainiarrak energi maila negatiboak aztertzeari gogoz ekin zion. Bere lana burutzeko, termodinamikan eta Pauli-ren esklusio-printzipioan oinarritu zen. Alde batetik, termodinamikaren arabera edozein gorputzek energi maila txikienera jotzen du. Beraz, elektroiak energi maila negatiboetarako joera dauka. Bestetik, Pauli-ren esklusio-printzipioaren arabera orbital atomiko bakoitzean edo energi maila bakoitzean elektroikopuru konkretu bat egon daiteke eta orbita bakoitza bete ahala elektroiak kanpoko orbitetara sartzen dira. Izan ere energia nebatiboko mailak badaude eta elektroiz beteta badaude, ondoko bi ondorioak atera genitzake:

- Elektroiak energi maila negatiboetara ez lirarteke eroriko; lekurik ez bait daukate (eror litezkeeneko edozein maila beteta dago). Espektrolanetan ikusten denez, elektroiak ez dira jaisten. Dirac-en ustez, energi maila negatiboak beteta daudelako gertatzen da.

- Beraz, HUTSA edo teorikoki materiari ez dagoen espazioaldean zer edo zer egongo litzateke. Energi maila negatiboetan elektroiak egongo lirarteke (eta orokorrean, era guztietako partikulak), baina energi maila positiboetan ez legoke partikularik.

Gizakiok bizi garen espazioaldean masa eta energiaren balioak 0-tik ∞ -rainokoak direnez gero, masa eta energiaren balioak negatiboak direneko espazioaldea guretzat hutsa da. Dirac-en aburuz, hutsa edo materiari ez dagoen espazioaldea, egia esan, ez dago hutsik eta energia negatibodun partikulek (protoiak, elektroiak, positroiak, neutrinoak,

...) osatzen dute. Hutsa partikula-itsasoa da.

Azter dezagun partikula-itsaso horren jokaera. Beti bezala xede honetarako argiaz baliatuko gara. Itsaso honen aurka fotoi-zorrotada zuzenduko bagenu, fotoiren batek itsasoko elektroiren baten kontra talka egingo luke, elektroia energia handiagotuko litzateke. Energi hazkuntza, hori elektroia energia negatibodun egoeratik positibodunera pasazteko adina koka izanez gero, energia positibodun elektroia lortuko ge-

nuke. Hau miraria! Lehen ez ez zegoen lekuan orain elektro bat dugu. Beraz, alde batetik energia positibodun elektro bat daukagu eta, bestaldetik, elektroiak itsasoan utziriko hutsunea, hau da, karga negatiboaren (elektroia) energia negatiborik eza daukagu. Ezeztapen bikoitz honen aurrean Dirac-ek hauxe esan zuen: karga negatiboaren energia negatiboaren ausentzia eta karga positiboaren energia positiboaren presentzia esangura berekoak dira. Eta partikula hauxe da, hain zuzen, positroi izenaz ezagutzen duguna. Dena den, Dirac-ek antielektroi izenaz bataiatu zuen. Beraz, Dirac-en arabera positroia energia negatibodun mailan dagoen elektroia energia positibodun mailara igarotzearen ondorioz lortzen den huts-egoeraren efektua da.

Azpitarratzekoa da prozesu honetan elektroia zein positroia energi bidez sortuak direla. Beraz, Albert Einstein-ek iradoki zuen bezala energi bidez materia sor daiteke.

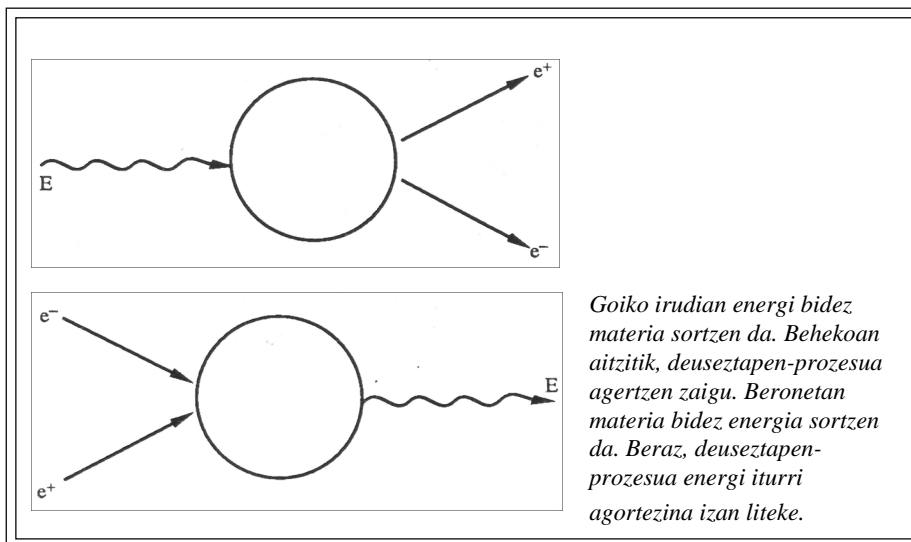
Era berean deuseztapen-prozesua ere suerta zitekeela esan zuen Dirac-ek.

Positroiak eta elektroiak elkarren kontra talka egiten dutenean, partikula biak desagertu egiten dira, gamma erradiazio gisa energia askatzen delarik.

Hona hemen, beraz, Albert Einstein-ek aurrean zuena. Masa bidez energia sor daiteke. Dirac-en teoria hobeto ikusteko azter dezagun ondorengo adibidea: Zolua indusiko bagenu gauza bi lortuko genituzke; lur-mordoxka eta zuloa (lur-mordoxkarik eza). Gure kasurako lehenengoa elektroia litzateke eta bigarrena positroia. Eta analogia honetan deuseztapen-prozesua zuloa indusitako lur-mordoxkaren bidezko estaltze-prozesua izango litzateke. Dena dela, zera esan behar da: laborategian gero Carl David Anderson-en esperimentuan azalduko denez, energia negatibodun elektroirik eza ez dela ikusten; elektroia masa bereko, energia positiboko eta karga positiboko partikula baizik.

1930. urtean Dirac-ek antimateriari buruzko teoria plazaratu zuenean oinarri esperimentalik ez zeukanez, garai hartako fisikarigoak ez zuen aintzakotzat hartu eta asmakeria hutsa zela pentsatu zen. Baina bi urte geroago izpi kosmikoen izaera aztertzean Dirac-ek aurreandako antielektroia topatu zen.

Oro har, oinarritzko partikula bakoitzari bere antipartikula dagokiola aurrean zuen Dirac-ek. Nolanahi ere, antipartikula lortzeko behar den energia ($E = m \cdot c^2$) bere masarekiko proportzionala denez gero, antiprotoia sortzeko adibidez askoz energia handiagoa behar dugu. Protoiak elektroiak baino 1836 bider masa handiagoa daukala eta, positroia lortzeko gutxienez 1836 bider energia handiagoa



Goiko irudian energi bidez materia sortzen da. Behekoan aitzitik, deuseztapen-prozesua agertzen zaigu. Beronetan materia bidez energia sortzen da. Beraz, deuseztapen-prozesua energi iturri agortezina izan liteke.

beharko genuke. Baina garai hartan ez zegoen hain energia handia sortzeko tresnarik.

Antiprotoiak, antineutroiak eta positroiak elkar al litezke antiatomoak sortzeko?. Antiatomoak ezezik antizarrak, antiplanetak, antigizakiak, ... ere sorzitezkeela esan zuen Dirac-ek 1933. urtean, Nobel Saria jaso zuen egunean eman zuen hitzaldian. Fisikari honen ustez, Lurra materiaz (eta ez antimateriaz) osatuta egotea kasualitatea da eta baliteke espazioko gorputz batzuk antimateriaz osatuta egotea.

Ondoren ikusiko dugunez, Dirac-ek antielektroiaren existentzia auresan eta hiru urte geroago (1932an hain zuzen ere) antielektroia topatu zenez geroztik, antimateria erabili izan da fisikagintzan.

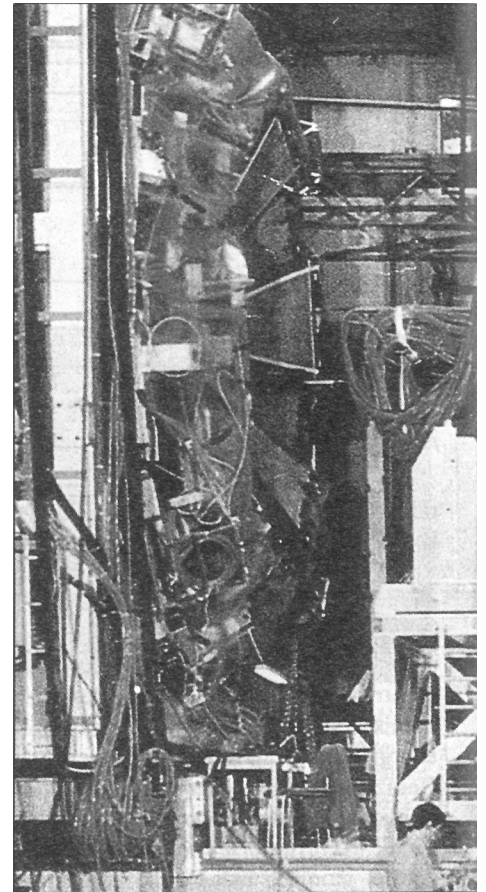
IZPI KOSMIKOAK ETA POSITROIAK

Denok dakigunez, izarren barruko temperatura eta presio handien eraginpean erreazio nuklearrak etengabe suertatzen dira, energia handia sortzen delarik. Izarren grabitazio-indarra handia izan arren, energia horren zati bat izarren gainazalera iristen da eta kanpoko alde-rantz irradiatzen da. Erradiazio horren zati bat argi ikuskorra da; izarrei begiratzeko diegunean ikusten duguna. Beste zati bat erradiazio ez-ikuskorra da, hala nola, irrati-uhinak, X izpiak eta berriki astronomoek aurkituriko beste erradiazio-mota batzuk. Izan ere, izarrek oinarriko partikulak (protoiak, energia handiko elektroiak, ...) eta beste partikula pisutsuagoak (nukleoak, nukleo osoak, ...) irradiatzen dituzte. Orokorrean, nukleoa

zenbat astunago izan, are eta urriago da partikula kosmikoen artean. Adibidez, 10^7 partikulatatik bat uraniozko nukleoa da. Izpi kosmikoen energia izugarria daukate. Protoiak, adibidez 10^6 MeV- 10^{12} MeV tartean daude. Agian beste artikuluren batean izpi kosmikoen aritza interesgarria litzateke.

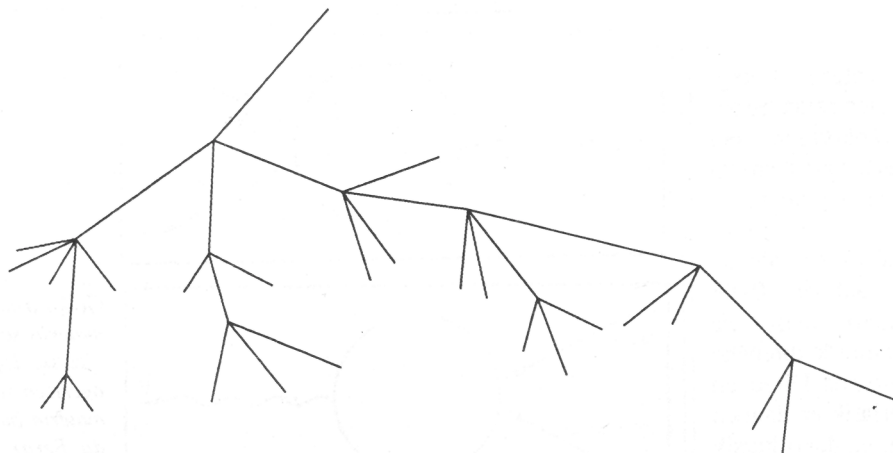
Izpi kosmikoen atmosferaren goikaldera sartzen direnean (izpi kosmikoen primarioak) Lurraren gainazalera abiatzen dira, beren jaitsierako ibilbidean topatzen dituzten atomo eta molekulen aurka talka ugari egiten dutelarik. Batez beste, partikula kosmikoen batek atmosferan zehar 800en bat metro ibiltzen ditu talka egin baino lehen. Talkaren ondorioz partikula gehiago sortzen dira, hala nola, mesoiak, positroiak, ... Partikula hauek izpi kosmikoen sekundarioak osatzen dituzte. Partikula sekundario haueko batzuk energia handia daukate eta beren jaitsieran beste atomo eta nukleoak jotzean partikula sekundario berriak sortzen dira. Azken haueko batzuk beste partikula batzuk sortu dituzte eta horrela prozesu biderkatzailea suertatuko da. Izpi kosmikoen energia handia izanez gero, partikula-jauzi honek partikula asko izango ditu eta zenbait kilometrotako zabalera izango da. Grafikoki adieraztearren esan dezagun artikulua hau irakurri bitartean partikulek (minutuko zenbait aldiz) irakurlearen gorputza zeharkatzen dutela.

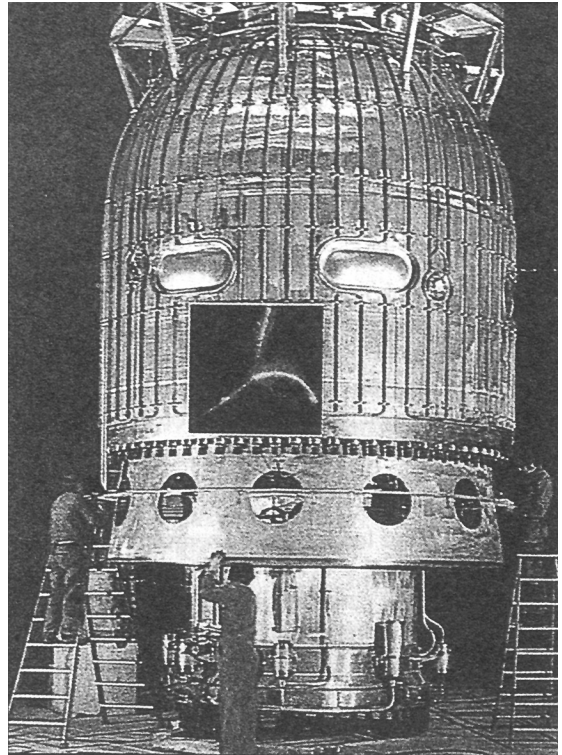
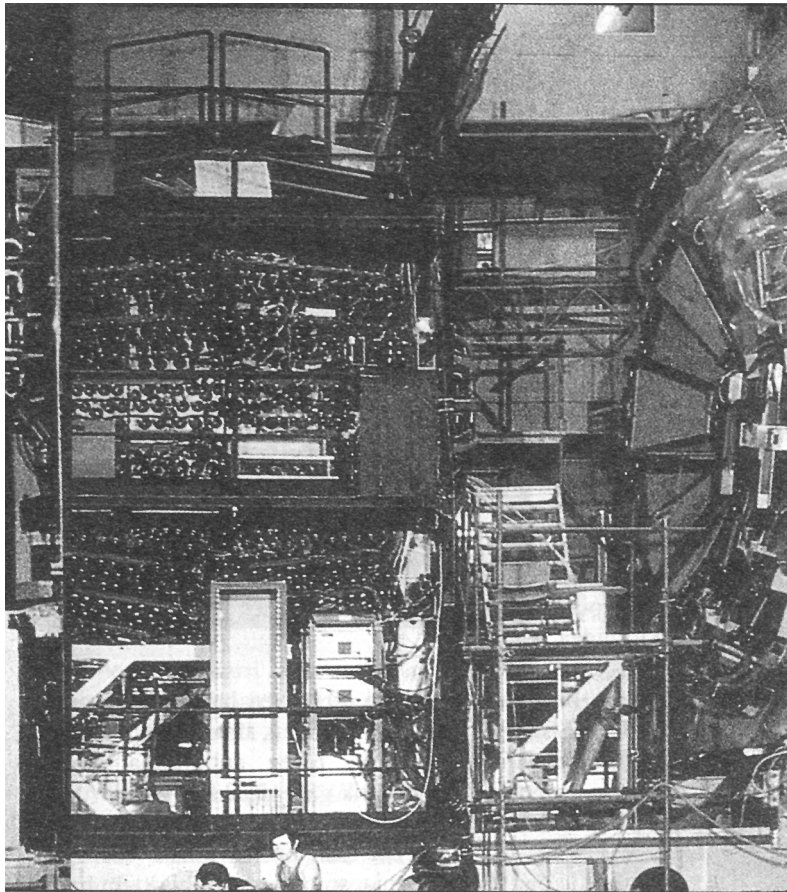
Hortaz, atmosferan izpi kosmikoen jasaten dituzten elkarrekintzek oso laborategi ona eskaintzen digute oinarriko partikulen arteko elkarrekintzak eta ma-



Geneva-ko C.E.R.N.eko (Ikerkuntza Nuklearrerako Ikertokia) UA2 detektagailuan, ikerlariak partikula eta antipartikulen arteko talkak aztertzen dituzte eta baita beroetatik sortzen den erradiazio erako energia ere

Partikula-jauzian oinarriko partikula asko sortzen dira





C.E.R.N.eko burbuila-ganbaran antimateria ikusten da. Leihatilan protoi eta antiprotoiaren arteko talka eta leherketa agertzen da

teriarren sortze-prozesuak ikertzeko.

Dirac-en garaian, 1932. urtean zehazkiago esanda, CARL DAVID ANDERSON fisikari amerikarrak MILLIKANekin batera ziharduen izpi kosmikoen izaera aztertzen. Anderson-ek, izpi kosmikoen izaera behin-betiko zehazte-kotan, ionizazio-ganbarara sartzen diren izpi kosmikoen ibilbidea bertako intentsitate handiko eremu magnetikopean desbideratzen ote zen jakin nahi zuen. Jakina zenez izpi kosmikoak energia zinetiko handikoak zirenez gero, ionizazio-ganbaran zehar oso azkar igaroko ziren eta ez zen bere kurbadura neurtzerik egongo. Energia zinetikoa txikiagotzearen, kurbadura detektatu ahal izateko ganbararako sarbidean 6,35 mm-ko lodieradun berunezko xafla ipini zuen. Izpi kosmikoek berunezko xafla pasatu ondoren, ionizazio-ganbaran zehar

beren ibilbidea kurbatu egiten zen. Eta zertxobait gehiago ere aurkitu zuen. Berunezko xaflatik igarotzean izpi kosmikoek berunetik zenbait partikula erauzi zituzten. Hemen daukagu izpi kosmiko sekundarioak. Izpi sekundario haue-tan partikuletari-ko batzuk elektroien masa zeukaten, baina karga elektriko positiboa. Beraz, hantxe zegoen Dirac-en antielektroia!. Anderson-ek positroi izena jarri zion. Dena den, urte batzuk geroago (1963. urtean) erradiazio primarioan aurkitu zen.

C. D. ANDERSONek Dirac-en antimateriari buruzko lanaren berri izanik ere, bere asmoa ez zen antielektroia aurkitzea; esana den izpi kosmikoen izaera ezagutzea baizik.

Ezaugarriei dagokienez eta ondoko taulan ikusten denez, positroiak elektroien ezaugarriak dauzka.

Taularen arabera positroia elektroia bezain egonkorra da, inguruan eragin diezaiokeen partikularik ez badago. Baina, errealitatean positroia elektroia eta beste zenbait partikularen artean higitzen da. Beraz, positroiak jaito eta berehala bere inguruko elektroietako batekin egingo du topo, elektroien/positroien bikotearen deuseztapen-prozesua suertatuko delarik. Ondorengo urteetan zenbait ikerlarik elkardeuseztapen-prozesua ikertu zuten. 1945. ean adibidez ARTHUR EDWARD RUARK fisikari amerikarrak zera esan zuen: positroiak eta elektroiak elkar deuseztatzerakoan oso denbora laburrez puntu amankomun baten inguruan biratzen dutela eta bi partikulok osatzen duten sistema birakorrari positronio izena jarri zion. 1951. an MARTIN DEUSTCH fisikari austriarrak elektroien/positroien sistemen gamma izpi karakteristikoa aztertuz positronioa detektatu zuen.

Dena dela, positronio sistemen iraupena gehienez ere 10^{-10} s-koa da. Denbora honen buruan positroia eta elektroia desagertu egiten dira eta energia gamma erradiazio gisa askatzen da.

Partikula-mota	Izena	Ikurra	Karga (C)	Pausaguneko masa (g)	Spina	Erdibizitza (s)
Leptoia	Elektroia	e^{-}, β^{-}	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	$6,108 \cdot 10^{-28}$	1/2	∞
	Positroia	e^{+}, β^{+}	$+1,602 \cdot 10^{-19}$	"	1/2	∞

ANTIPROTOIA

Lehenago esana dugunez, Dirac-en ustetan partikula atomikoei beren antipartikula dagokie. 1932.ean izpi kosmikoetan lehenengo antipartikula (positroia) topatu zenean, antipartikula gehiago aurki zitekeelakoan gogo handiz ekin zion lanari. Antiprotoia (karga negatiboko protoia) bilatzen hasi zen. Izpi kosmikoek eman zituzten datuek uste baino partikula gehiagoren existentzia frogatu zutenez, izpi kosmikoen osagaien artean antiprotoia aurkitzeari ekin zion. Baina izpi kosmikoen osagaien artean antiprotoia aurkitzeko zailtasuna ikusita, laborategi-tresna bidez lor zezaketela pentsatu zuten fisikariek. $E = m \cdot c^2$ ekuazioaren arabera energia masarekiko proportzionala da. Beraz, protoia elektroia baino 1836 masa handiagokoa denez gero antiprotoia sortzeko 1836 bider energia handiagoa beharko genuke. Energia handi horien beharra ikusita, partikula-azeleradoreen aroa jaio zen. Orduan, antiprotoia sortzeko behar zen energia lor zezakeen partikula-azeleradorearen atzetik ibili ziren fisikariak.

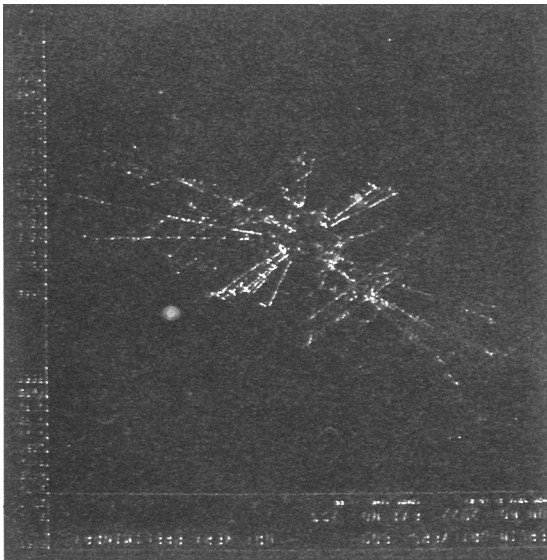
1928. urte inguruan JOHN D. COCKCROTTek eta ERNEST WALTONEk Rutherford laborategian egin zuten tentsio-biderkatzaile izeneko tresnaz protoia 4.10^6 eV-eko energiara heltzea lortu zuten. Antiprotoia lortzeko behar den energia $5,6.10^6$ eV-ekoa denez, askoz ere partikula-azeleradore hobekak eraiki behar zirela pentsatu zen. Hurrengo urteetan munduko estatu askoren artean partikula-azeleradorerik onena eraikitzeko lehia egon zen. Urteak joan urteak etorri, 1954.ean Californiako Unibertsitateak 5 GeV-etik 6 GeV-era bitarteko energia lor zezakeen *Bevatroi* izeneko tresna eraiki zuen. Bevatroiaz gizakiak antiprotoiaren lorbidea bere eskutan zeukan.

1955.ean Californiako Berkeley Unibertsitateko OWEN CHAMBERLAINek eta EMILIO G. SEGREk kobrezko xafla bat ordu askotan $6,2.10^6$ eV-eko protoiez bonbardatu ostean 60ren bat antiprotoi lortu zituzten. Identifikatzen ez zen batere erraza izan. Sortutako

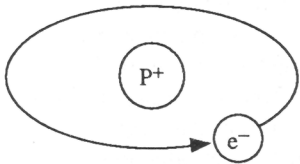


antiprotoi bakoitzeko 40.000ren bat partikula agertu bait ziren. Baina, detektagailu-sistema egokiaren bidez antiprotoia inolako zalantzarik gabe detektatu zuten.

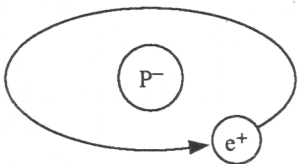
Protoi/antiprotoi bikoteak, Dirac-ek aurrean bezala jokatu zuen. Antiprotoia sortu orduko higitzen hasten da eta nuk-



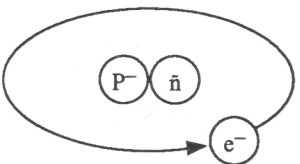
Materia eta antimateriaren deuseztapen-prozesua argi eta zehaztasun handiagoz ikusteko, ordenadoreaz baliatzen da.



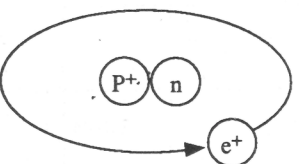
Hydrogenoa



Antihidrogenoa



Antideuterioa



Deuterioa



Big Bang edo Leherketa Handiaren ostean partikula eta antipartikulak sortu ziren. Beraz, partikulek eta antipartikulek elkardeuseztatu egin behar izan zuten. Zergatik ez zen horrela gertatu? Zergatik bizi gara materiazko munduan? Guzti honek unibertsoan materia eta antimateria banantzeko mekanismoren bat bilatzera eraman zituen zientzialariak.

leoren bat topatzen duenean azken honek erakarri egiten du, antiprotoiak eta nukleoaren protoiek elkar deuseztatu eta energia askatzen delarik.

ANTINEUTROIA ETA SPINA —

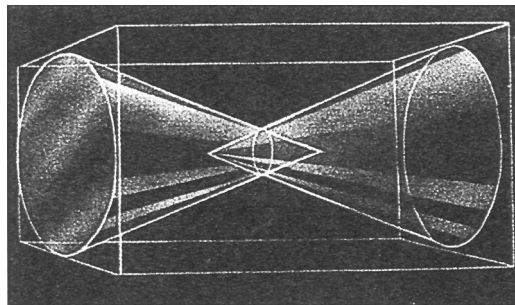
Lurrak, Eguzkiak edo gure galaxiek beren ardatzen inguruan biratzen duten antzera, duela zenbait urte oinarritzko partikulek biraketa-higidura izan zezaketaren ideia zabaldu zen fisikarien artean.

Espektrometroen bereizmena hobetu ahala, hidrogeno-atomoaren espektroan agertzen zen lerro bakoitza bikoitza zela jakin ahal izan zen. Hura azaltzeko GEORGE EUGENE UHLENBECK eta SAMUEL ABRAHAM GOUDSMIT fisikari holandarrek hauxe proposatu zuten: elektroiek beren orbitaletan nukleoarekiko higiduraz gain beren ardatzarekiko ere higidura zutela (errotazioa, alegia). Errotazio honek bi norantza desberdin ditu: ezkerretarako eta eskuinetarako "s" zenbaki kuantikoak edo spinak determinatzen dituelarik. Higidura honek eremu magnetiko txiki bat sortzen du eta horrexegatik ikusi zen bikoizketa hori.

Elektroiak ezezik gainerako oinarritzko partikulek ere beren ardatzarekiko bira zezaketela pentsatu zen eta biraketa honen ondorioz partikula kargatuek sortutako eremu magnetiko txikiak ikertuak izan ziren. ISAAC ISADOR RABIk nukleoaren ezaugarri magnetikoak ikertu zituen erresonantzi metodoaz baliatuz. Ikerketa haien ondorioz Nobel Saria irabazi zuen.

1925.ean OTTO STERNek protoien momentu magnetikoa aurkitzeko izpi molekularren bidezko metodo bat asmatu zuelako, 1943. urtean Nobel Saria eman zioten.

Partikula kargatuek eremu magnetiko txiki hori nola sordezaketen ulertzea erraza da, baina neutroiek sortzen dutela esango balitz ulertzea agian ez litzateke hain erraza. Egia esan horixe gertatzen da. Honen froga zera da: neutroi-izpi bat burdin magnetizatuaren kontra zuzentzen denean, ez du burdin ez-magnetizatuaren kontra zuzentzen denean bezala jokatu. Fisikarientzat neutroien magnetismoa misterioa da eta hau azaltzeko teoria batzuk plaza-ratuak dira. Adibidez, neutroia egitura konplikatua da, zeinean karga negatibodun partikula batek karga positibodun nukleo (protoi bat) baten inguruan biratzen bait du. Karga totala nulua da. Karga negatiboak bere higidu-



Unibertso simetrikoa edota bikoitzaren eredu. Bate dago unibertsoan gure materiazko mundua bezalako antimateriazkorik?

raren ondorioz eremu magnetiko txiki bat sortzen du. Dena den, oraintsu egindako esperimientuek teoria hau zalantzan jarri dute. Beste teoria hobe batek, honako hau dio: neutroien nukleoak ez dauka kargarik, baina bere inguruan karga positibo eta negatibozko kantitate berdinak biratzen du. Partikula positiboek eta negatiboek aurkako norantzatan biratzen badute, eremu magnetiko globala sortzen da.

Nolanahi ere, *zer da antineutroia?* galderaren erantzuna neutroien errotazioan datza. Bere errotazio-higidura alderantzuta deneko neutroia da. Nolabait esateko, bere hegopolo magnetikoa goian dago. 1956.ean Berkeley-ko ikerlariak, bevatroiaz lanean ari zirelarik, antineu-

troia lehenengo aldiz identifikatu zuten.

Protoi, elektroik eta neutroien antipartikulak detektatu gero, fisikariek hauxe pentsatu zuten: partikulek materia osatzen duten antzera, antipartikulak elkar zitezkeela antimateria osatzeko. Adibidez, antihidrogeno atomoak bere antinukleoan antiprotoi bat edukiko luke eta beronen inguruan antielektroi batek (positroiak) biratuko luke. Antideuterioak, antihidrogenoaren isotoporik sinpleenak, antinukleoan antiprotoi bat eta antineutroi izango litzateke eta inguruan biratzen duen elektroik bat ere bai. Eta gainerako elementuei dagokienez, gauza bera esan genezake. Antiatomo bakoitza dagokion atomoa bezalakoa da, baina partikulaz osatua izan ordez antipartikulaz dago osatuta.

Era berean, antiatomoak antimolekulak osatzeko elkartuko lirateke eta baita antielementuak eta antikonposatuak osatzeko ere. Antiura, esaterako, hidrogeno antiatomo bi (antihidrogeno) eta oxigeno antiatomo (antioxigeno) bat elkartzearen ondorioz eratuko litzateke.

1965. urtean Brookhave-n 10^9 eV-eko energiadun 7 protoiz berilioa bonbardatuta antideuterioa aurkitu zen. Harez gero 3-antihelioa eta antitritioa sortu dira.

Hala ere, antimateriaren lehenengo frogak hauek laborategi-mailan eginak dira eta sortutako antimateria ez da batere egonkorra, zeren materiaren espazioaldean sortua denez jaino bezain laster antimateria/materia deuseztapen-prozesua gertatzen bait da. Orain arte ez da

antimateria egonkorrik sortzerik egon eta Unibertsoaren bazterren batean ere ez da ikusi. Edozelan ere, fisikariek ez daukate zalantzarik: Unibertsoan antimateria egon badago.

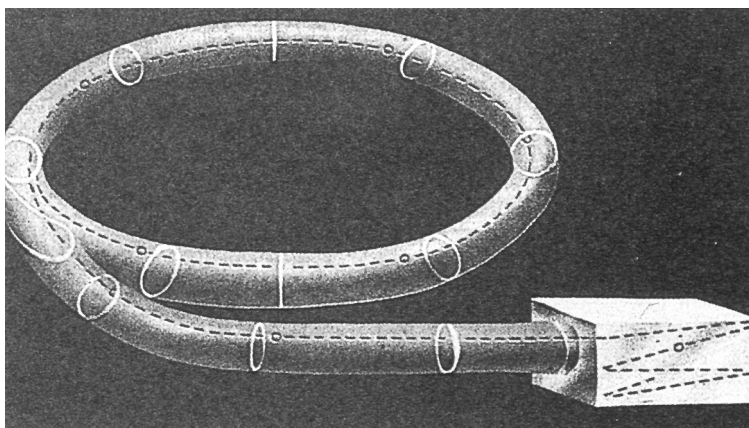
ANTIMATERIA ETA UNIBERTSOA —

Astronomoen ustez, hasieran Unibertsoan ez zegoen masarik eta gaur egun ikusten dugun masa Unibertsoaren hasiera horretan zegoen energiaren bidez sortua da. Beraz, antimateriak zerikusirik handia du Unibertsoarekin.

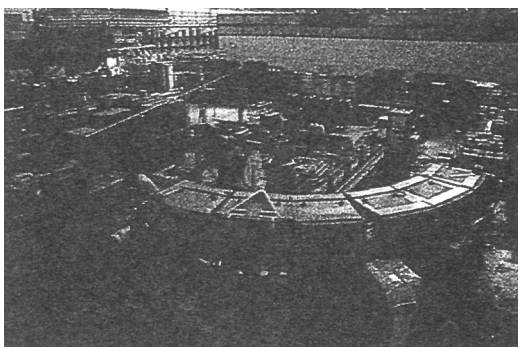
Gaur egunean Unibertsoaren sorrera eta eboluzioa azaltzeko erabiltzen den teoria Big Bang (Standard Big Bang

Model) edo Leherketa Handiaren Teoria da. Teoria honek dituen hipotesietako bat, materia/antimateriari dagokio. Unibertso primitiboan oso bero handia zegoela eta, partikula/antipartikula bikoteak kopuru berdinez sortu ziren. Baina, gaur eguneko unibertsoan ez da antimateriarik aurkitu eta hau esateko bi froga daude. Alde batetik gure galaxiatik edo ingurukoetatik jasotzen ditugun izpi kosmikoen analisiak ez du inoiz antinukleoen existentziarik agertzen. Bestalde materia eta antimateria elkarrekin badaude, elkardeuseztapen-prozesua gertatzen da, energia handiko gamma erradiazioa askatzen delarik.

Nola azaldu, bada, Unibertso primitiboaren eta gaur egunekoaren arteko komposizioen arteko ezberdintasuna?



"Penning Tranpa" oinarritzen den printzipioa. Antipartikulak beren ibilbide zirkularretatik desbideratu egiten dira eta irudian agertzen diren ontzirantz, zeinean eremu magnetikoen bidez batetik bestera higi erazten bait dira, zuzentzen dira



L.E.A.R. (energia txikiko antiprototoien eraztuna) deritzon makina, Geneva-ko ikertokiak sortutako antimateri kontserbaziorako sistema berria da. Hemen antiprototoiak tranpa magnetikopean daude

Erantzun batzuk badaude. Materia eta antimateria oso espazioalde bereiztu eta isolatuetan daude, baina ez da materia eta antimateria horrela bereiz dezakeen prozesurik aurkitu. Beraz, hipotesi hau baztertu egin da. Bestalde, hasieran gure espazioaldean partikula-kopurua antipartikulena baino handiagoa zen eta bikoteka deuseztatu zirenean partikula-kopuru bat gelditu zen. Horren ondorioz,

gure mundua materiazkoa da. Gisa berean, beste espazio alde batzuetan deuseztapen-prozesuaren ondoren antipartikulak izan ziren nagusi. Berez antimateriaz osaturiko planetak, izarrak, galaxiak,... sortu ziren. Baliteke gure teleskopioen bidez ikusten ditugun galaxia batzuk antipartikulaz osatuta egotea. Oraindik, teleskopio bidez ez dago hori zehazterik. Jakina denez, argi-emisioaren prozesua nukleoaren inguruan elektroiek deskribatzen dituzten orbiten menpe dago. Atomoren elektro bakoitza positroi batez ordezkaturiko bagenu eta nukleoa antinukleo batez, orbita elektronikoak eta positronikoak berdina lirerateke. Antiatomoak emititutako argia eta atomoak emititutakoa berdina dira. Beraz,

tihelio-nukleoak aurkitzeko antizarren existentziaren seinale izango litzateke.

1990-2000 hamarkadarako ikerlari iparramerikarrek Lurraren inguruan Astromag izeneko tresna orbitan ipini nahi dute, emaitza hobekoak lortzekotan. Tresna hau espaziountzi baten barruan egongo da. Astromag-ek partikula azkar-azkarrak beren ibilbideetatik desbidera eraz ditzaketen supereroalezko oso iman indartsuak ditu. Jarraian, detektagailu-multzo batek nukleo bat heliozkoa ala antiheliozkoa den desberdindu du; imanez heliozko partikulak ezkerretarantz desbideratzen badituzte, antiheliozkoak eskuinetarantz desbideratuko dituzte, edo alderantziz. Beraz, Astromag-ek antimateria bilatuko du espazioan.

Bestalde, Geneva-ko C.E.R.N. ikertokiak antiprototoi-kontserbaziorako sistema bat, zeinak antiprototoien jokaera ikertzeko aukera ona emango bait digu, funtzionamenduan ipiniko omen dute. Orain arte antiprototoien jokaera ikertzeko arazo garrantzitsu batekin egin da topo: antiprototoiak energia handiko talken bidez dira sortuak, beren abiadura (argiaren inguruko) eta energia oso handiak direlarik. Kontserbazio-sistema berriak, ostera, L.E.A.R. (energia txikiko antiprototoien eraztuna) deituriko makina dauka. Makina honek antiprototoiak moteldu egiten ditu eta Penning Tranpa deritzon aparatua abiarazten ditu. Aparatu honetan eremu magnetiko eta elektriko bidez aurrera/atzerantzko higiduran mantentzen dira, hormak uki ez ditzaten. Antiprototoiak tranpa honetan dauden bitartean esperimentuak egin daitezke; beren masa protoiarenarekin parekatu, grabitate-indarrek protoiei bezala eragiten ote dien ikusi, ... Grabitate-indarrak nola eragiten dien jakitea oso interesgarria izango da, zeren gaur egun antimateria gorantz ala beherantz erortzen den espekulatzen ari bait dira.

Ondorio gisa, gaur egun antimateriaren inguruko esperimentuak egiten ari direla esan dezagun. Gai honetan fisikagintzaren kezka asko sartzen dira, hala nola, materia eta antimateriaren arteko, lege fisikoen simetrikotasuna, Unibertsoaren sorrera eta eboluzioa, energi iturri bezala erabiltzea,...

Paul Dirac zenbait ekuazio matematikoren inguruan hausnartzen hasi zenez gero, 50en bat urte igaro eta antimateriaren ikerkuntza jaio baino ez da egin. ■

Unibertsoan egon daitekeen antimateria (antiplanetak, antiizarrak, antigalaxiak, ...) detektatzeko beste metodoren bat erabili beharko da. Argia analizatzeko metodoa egokia ez bada, antipartikulen atzetik ibili beharko da.

Izan ere Unibertsoan dagoen antimateria antihelio-nukleotan bilatu beharko da; hidrogenoaren ostean espazioan dagoen elementurik ugariena bait da. An-