

OINARRIZKO ZATIKIAK: MATERIAREN MUINA

Iñaki Martin Axpe

Gure inguruko mundu, ekintza eta egoera ororen legeak (eta gu geu ere bai) zatiki gutxi batzuetara bil daitezke. Artikulu honetan *eredu estandarra* deituriko azalpenik hedatu eta onartuena adieraziko dugu.

JOAN den hamarkadaren hasieran gai honi buruz ha- maikatxo albiste eta arti- kulu argitaratu zen. 1979 -1985 bitartean nekez zite- keen naturaren oinarrizko zatikiak nola edo hala jorratzen ez zituen zientzi aldizkaririk. Horren arrazoia orduan burutu ziren esperimentu- ak garatutako teoriekin bat etor- tzea zen. Baina orduko tresneriaz esperimendatzeko ahalmena nola- bait ahitu egin zenez gero, azken urteotan guzti honi buruzko albis- teak ere urritu egin dira. Esperi- mentu berriek, behaketa zehatza- goek, makineria indartsuagoek eta kosmologiaren hurrengo aurkikun- tzek, gaur egungo teoriak baieztat- zea ala aldatzea eragingo dute. Horregatik geldialdi honek dirauen artean, gaur egungo egoera zein den labor ematea guztiz egokia da.

Has gaitezen, ordea, histori- apur batez:

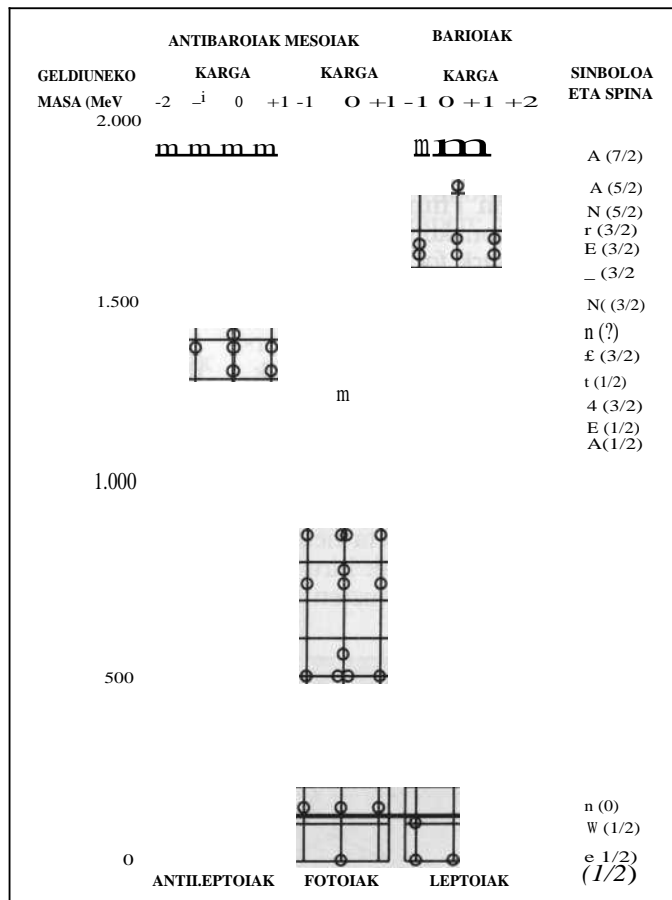
Historian zehar zerbait txikiagoren bila

Kristo aurreko V. mendean Leu- zipo eta Demokrito-k, jaiotzea osa- gaien batuketa eta heriotza osa- gaien barreiaketa zirela aldarrikatu zuten. Infinitu osagai haiek ikus- tezinak, aldaezinak, ezabatezinak, sortezinak eta zatiezinak ziren, eta grekoz atomo hitzak zatiezina esan nahi duenez gero, atomo izendatu zituzten. Demokritok, hain zuzen, honela idatzi zuen: *Ustea hotza, us- tea beroa; egia atomoak eta hutsa.*

Eta egia honen bila gero eta sakonago sartu da gizakia materia barruan. Joan den mendeko kimi- kariak, 36 elementu kimiko baka- rrik ezagutzen zituzten (gaur egun 100 baino gehiago dira). Beren us- tez atomoak materia-zatirik txikie- na ziren eta esfera itxura zeukaten. Mende honen hasieran (1911.ean)

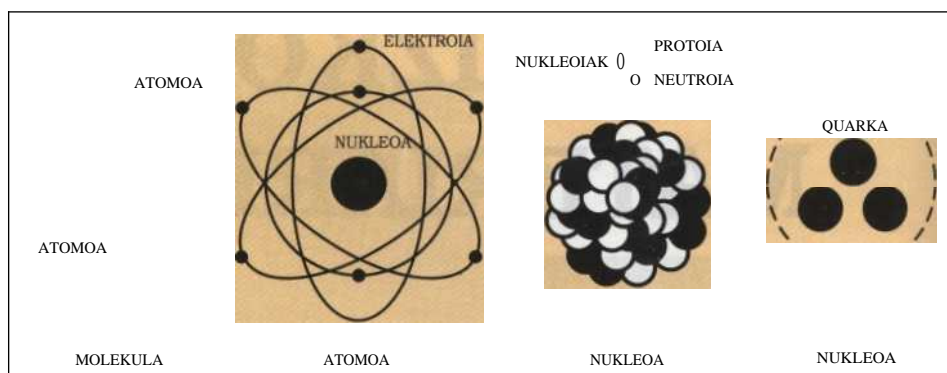
Rutherford-ek atomoak biraka ari diren elektroizko hodeiaz inguratu- tako nukleo txiki batez osatuta daudela jakin erazi zuen.

Geroago, nukleoa bera bi zatiki- motek (protoiek eta neutroiek) osatzen dutela Briden zuten. 1930. urtean beraz, materian (eta, are gehiago, unibertso osoan) oinar-



1. irudia.
1964. urtean Gell-Mannek honako taula hau proposatu zuen zatikiak sailkatzeko. Quark kontzeptua agertzeaz zegoen.

2. irudia.
Materiaren
osagaien bila.
Zatirik txikiena
aurkitu ote da?



rizko lau zatiki desberdin zeudela onartzen zen, hots, elektroia, protoia, neutroia eta argiaren zatiki zen fotoia. Baina ikuspegi eroso honek ez zuen luzaro iraun, laster oinarrizko zatiki berriak plazaratu zirelako. Adibidez, t, K, u, v, A, E eta abar. Gainera antizatikak ere agertu ziren, hots, zatikien masa berdina baina karga eta beste ezaugarriak kontrakoak dituzten zatikiak. Hainbeste hazi zen zatiki-kopurua, ezen 60.eko hamarkadaren hasieran Mendeleieven elementu-taula periodikoaren antzera zatikiak ere taula batean taiutu bait zituzten (ikus 1. irudia). Alaben banaketa berriak periodikotasun bazu agerian utzi zituen. Zatikiak taldeka bana zitezkeela ikusi zen eta gexu batean haietako ustezko hainbat eta hainbat zatiki erabat oinarrizkoak ez zirela iradoki zen.

Izan ere talde hauek zatiki bazuen barneko egitura txikiagoaren adierazle ziren. Benetako oinarritzko ziren zatiki berriak quark izenaz bataiatu zituzten. Izena James Joyee-ren Finnergans Wake elaberritiren honako esalditik atera zen: *Three quark for Musten Mark!* (hiru quark Musten Mark-entzat!). Quark hitzak ez du ezer esan nahi. Are gehiago, elaberri ospetsu horretan hainbeste dira hitz-jokoak, ezen zeharo ulergaitza suertatzen den (ez euskarara eta ez gaztelaniara edo frantsesera ere ez dira oraingoz itzultzeraz ausartu). Baina elaberrian quarkak Mr. Marken semeak dira eta protoia eta neutroia osatzen zituzten zatikiak hiru zirenez, quark izendatu zituzten (ikus 2. irudia).

Gaur egun ezagutzen den materia-zatirik txikienaraino heldu gara, baina bere portaerari buruz ez dugu ezer aipatu oraindik; aurretik ikuspegi orokor eta osatuagoa adierazi gura bait nuke, bilakaera historikoa alde batera utziz.

Eredu estandarra

Izen honen bitartez munduan dauden gauza eta gertakizun guztien funtzionamendua azaltzen duen teoriarik hedatuena izendatzen da. Teoria honen arabera elementu bi bereiz ditzakegu gure mundu honetan: materia eta elkarrekintzak edo indarrak, alegia. Materia izenpean gorputz edo objektutzat jotzen dugun guztia sartzen da. Elkarrekintzek edo indarrek materiaren portaera eta aldaketak adierazten dituzte, hala nola planeten higidura, erreakzio-kimikoak, elektrizitatea edota bizitza bera, besteak beste. Indarrak lau mota desberdinetakoak izan daitezke.

Horietako mota bat indar grabitatorioa da; nahikoa ezaguna eta planeten, izarren edo galaxien arteko higidura eta Lurrak erakar gaitzan erantzule delarik. Bigarren indar-mota elektromagnetikoa dugu. Honek imanen portaera, elektrizitatearena eta atomo barruan elektroiak nukleoaren inguruan biraka ibiltzea azaltzen ditu, besteak beste.

Beste indar-mota bat, indar nuklear bortitza alegia, atomoko nukleoan protoi eta neutroien arteko elkarrekintzen erantzule da. Hala-ber, quarkak elkar daitezen ere

eragiten du. Laugarren indarra, azkenik, indar nuklear ahula dugu, zeinaren betebeharra aurrerago zehaztuko dugun.

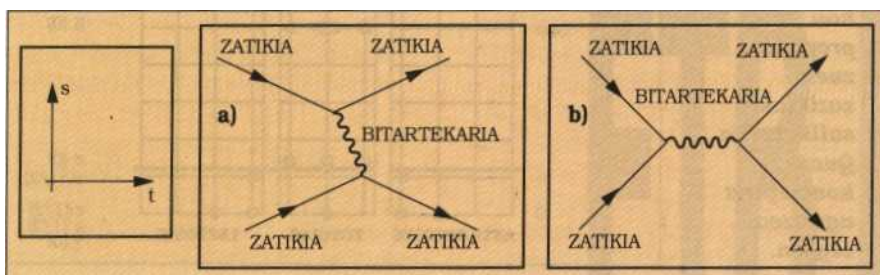
Edonon eta edozertarako zatikiak

Hala materia, nola indarrak, oinarrizko zatikien ondorioztat jotzen ditu eredu estandarrek.

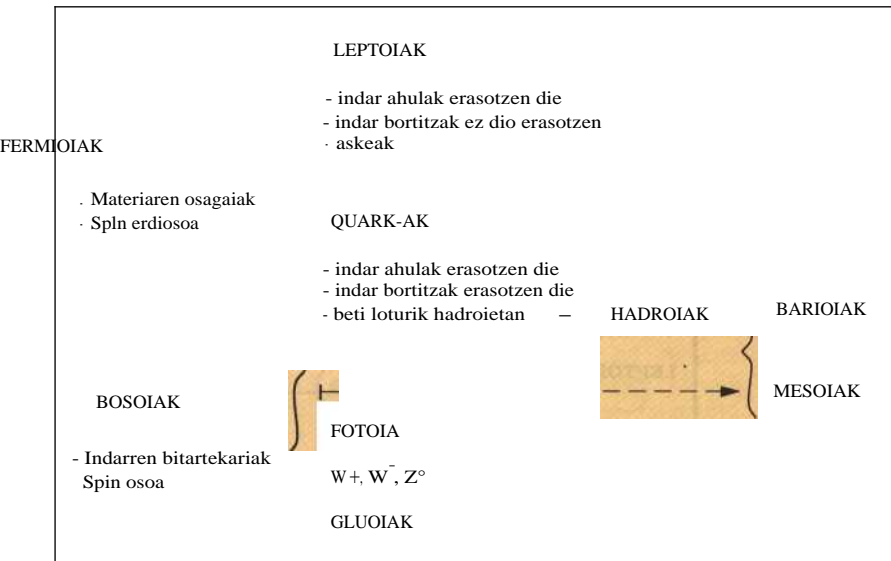
Beraz gorputz bat (ez du zurruna zertan izan behar, *gorputza* esaten dugunean solidoa zein likidoa edo gasa ere adierazi gura dugu, airea ere *gorputza* delarik) gero eta zati txikiagotan bananduz gero, molekuletara helduko ginateke. Hauek atomoz osatuta daude. Atomoak Mendeleieven taulan agertzen direnak dira (isotopoak alde batera lagata), eta elektroizko hodeiaz inguratutako nukleo txiki batez osatuta daude. Nukleo horretan badago zatiki txikiagorik ere (protoiak eta neutroiak) eta berarek ere, azkenekoz, hiru zatikiz osaturik daude; hiru quarkez hain zuzen.

Indarrei dagokienez, Erlatibitate-Teoriak indarren eragin eta efektu-

ak bapatean ezin transmiti daitezkeela jakin erazten digu. Beraz, bitartekariren bat behar dugu. Bestalde Mekanika Kuantikoak energiak balio diskretuak hartu behar dituela diosku. Horiek horrela, zatiki biren arteko indarra indar hau abiadura finituz garraiatzen duen zatiki bitartekari baten trukaketaren ondorio da: zatikiren batek bitartekaria igorri egiten du eta besteak xurgatu egiten du (ikus 3. irudia).



3. irudia. Feymann diagramak,
elkarrekintzak adierazteko
erabiltzen dira. Denbora
abzisanan neurtzen da.
a) Zatiki batek beste zatiki
baten kontra talka egin du.
b) Zatiki-bikote bat deuseztatu
egin da beste berri bat sortuz.



4. irudia.
Zatiki-moten sailkapena.

nak, aldiz, bosoiak. Materia, edozein motatako materia, fermioiz osatuta dago beti. Beraz, elektroiak, protoiak eta neutroiak fermioiak dira noski. Baina dagoeneko azken biak quarkak osatzen dituztela badakigu. Ez da harrizkoa, beraz, quarkak ere fermioiak direla jakitea.

Materiaren osagarriak fermioiak badira ere, indarren bitartekari guztiak bosoiak dira. Indar grabitatorioaren zatiki bitartekaria grabitoia da, eta indar elektromagnetikoarena, fotoia. Indar ahulak hiru bitartekari behar ditu: W^+ , W^- eta Z^0 , alegia. Indar bortitza, azkenik, gluoiek eta mesoiek garraiatzen dute. Laburpen gisa, ikus 4. eta 5. irudiak.

Ondorioz mundu osoa zatiki batzutara laburbildu ahal dugu; materiaren osagai eta indarren bitartekarietara.

Zatikien ezaugarriak

Zatikien ezaugarriei zenbaki kuantiko deritze, balio diskretu batzuk bakarrik har ditzaketelako. Horietao bat karga elektrikoa da, eta protoi edo elektroia unitatizatatzat jotzen da. Beste zenbaki (ezaugarri) garrantzitsu bat spin momentu angeluarra da. Honek zatikiaren biraketa-egoera adierazten du eta $n \cdot h/2\pi$ balio du, non n zenbaki osoa eta $h = 6,6 \cdot 10^{-27}$ erg/s diren.

Badago **kolore** izeneko beste zenbaki kuantiko bat. Hemen koloreak ez du ohizko esanahiarekin, ikusmenarekin alegia, zerikusirik. Dena dela, aurrerago aztertuko dugu zenbaki hau zer den. Zenbaki gehiago egon arren (barionikoa, muonikoa, etab.), ez ditugu ikuspegi orokor honetan aipatuko. Orain-

goz esan dezagun elkarrekintzetako hasierako eta azkeneko zenbakien balioak berdin-berdin irau behar dutela, hau da, kontserbatu behar dutela (9. eta 12. irudietan agertzen diren elkarrekintzetan azken esaldi hau egiazta daiteke).

Leptoiak eta hadroiak

Leptoiak (e^- da ezagunena) indar bortitza pairatzen ez duten zatikiak dira eta oinarrizko zatikitzat jotzen dira. Hadroiak (protoiak eta τ adibidez) ostera, indar bortitzarekiko sentikor dira. Gainera ez dira zeharo oinarrizkoak; quarkez osatutakoak baizik. Bestetik, hadroiak bi motakoak izan daitezke: barioiak (astunenak) eta mesoiak (arinagoak).

Materiaren fermioiak eta indarren bosoiak

Spin erdiosoa duten zatikiak fermioiak dira eta spin osoa dute-

Materiaren familiak

Orain arte erizpide ezberdinen arabera zenbait sailkapen aztertu dugu. Ikus dezagun orain funtsezkoena. Materia osatzen duten oinarrizko zatiki bakarrak leptoi eta quarkak dira. Orain arte 6 leptoi eta 5 quark aurkitu dira, baina erabateko simetria bete dadin seigarren quarka ere badagoela onartzen da. Leptoiak elektroia (e^-), neutrino elektronikoa (ν_e), muoia (μ^-), neutrino muonikoa (ν_μ), tau (i^-) eta neutrino tuonikoa (ν_τ) dira. Quarkek sei zapore ezberdin dituz-

5. irudia. La.u indarren eta beren bosoi bitartekarien ezaugarriak.

Indarra	Intentsitatea	Irispidea	Zatiki		Geldiuneko masa spina (GeK)	Bosoi	Bosoi	Oharrak		
			Eragindako zatikiak	berdintsuen bitartekariak					arteko ondorioa	Bosoi
Bortitza		$< 10^{-13}$	Quarkak	Aldaragarria	Gluoiak	0	0	Detektatutako bitartekariak		
Elektromagnetikoa		10^{-2}	Zatiki kargadunak	Aldaragarria	Fotoia	0	0	Detektatutako bitartekariak		
W-	Ahula	10-13	$< 10^{-16}$	Fermioiak	Aldaragarria	81 81 93		Detektatutako bitartekariak		
Grabitatorioa		10^{-38}		Guztiak	Erakargarria	Grabitoia	0	2	0	Ustezko bitartekaria

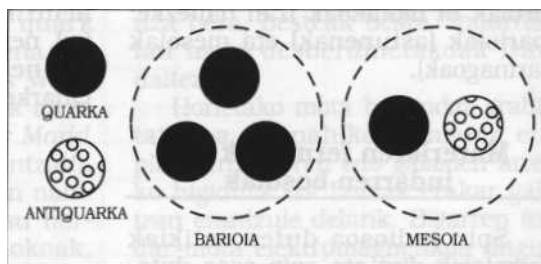
tela esaten da, alegia, u (up, gora), d (down, behera), s (strange, arraroa), c (charm, xarma), t (top, gailurra) eta b (botton, hondoa). Ikus 6. irudia.

Leptoiak isolatzeko eta isolatuta aztertzeke inolako zailtasunik ez dago. Quarkak, ostera, ez dira inoiz aske ikusi, eta isolatzeko egin diren ahalegin guztiak alferrikakoak izan dira. Beti ere hadroien barruan dira. Bi aukera besterik ez daude: hiru quarkek barioia osatzea ala quark batek eta antiquark batek mesoia osatzea (gogoratu zatiki baten antizatikikiak haren ezaugarri guztiak masa izan ezik aurkakoak dituela) (ikus 7. irudia).

Hemen oztopo txiki bat dager. Pauliren eskusio-printzipioak atomo batean zenbaki kuantiko berdinak dituzten fermioi bi ezin egon daitezkeela esaten du. Batek + 1/2 spina eta besteak -1/2 spina eduki behar dute. Baina zapore berdineko 3 quarkez osatutako hadroietan (S²- adibidez hiru s quarkek osatzen dute) bi quarkek, gutxienez, spin berbera eduki behar dute. Oztopo hau gainditzeko beste zenbaki kuantiko bat sartu zen (kolorea alegia), quarkek kolore desberdinak izan zitzaten eta horrela Pauliren printzipioa bete zedin.

Hiru kolore desberdin har ditzakete quarkek: gorria, berdea eta morea. Honela, hadroiak hiru kolore desberdineko hiru quarkez osaturik daude, batuketaren emaitza kolorega delarik. Mesoi-

7. irudia. Hadroiak osatzeko erabidea eta hadroi batzuen egitura eta ezaugarriak. (Antizatikikiak marra batez adierazten dira. Adibidez, U quarka u quarkaren antizatikikia da).



Barioiak	Egitura	Masa (GeV)	Mesoiak	Egitura	Masa (GeV)
Protoia P	uud	0,938		ud	0,14
Neutroia	uud	0,940		du	0,14
A	uas			uu+dd	0,135
	dss	1,321		ss	1,020
	sss	1,672	W	cc	3,095
Ac	udc	2,273	Y	bb	9,46

Izena	Ikurra	Geldiuneko masa (GeV)	Karga
Neutrino elektronikoa		< 2.108	0
Elektroia	e ⁻	5.11.104	
Neutrino muonikoa	ν _μ	< 2.104	0
Muoia		0, 1066	
Neutrinoi tauonikoa	ν	< 0,035	0
Tau		1,784	
Gora	u	0,01 - 0,31	+2/3
Behera	d	0,01 - 0,31	- 1/3
Xarma	c		+2/3
Arraroa	s	0,15 - 0,505	- 1/3
Gailurra	t	< 89	+ 2/3
Hondoa	b	5,5	

S. irudia. Ezagutzen diren oinarrizko fermioi guztien ezaugarriak.

quarkek, aldiz, edozein kolore eta beren anticoloreetakoak dira,

azken emaitza ere kolorega delarik, noski.

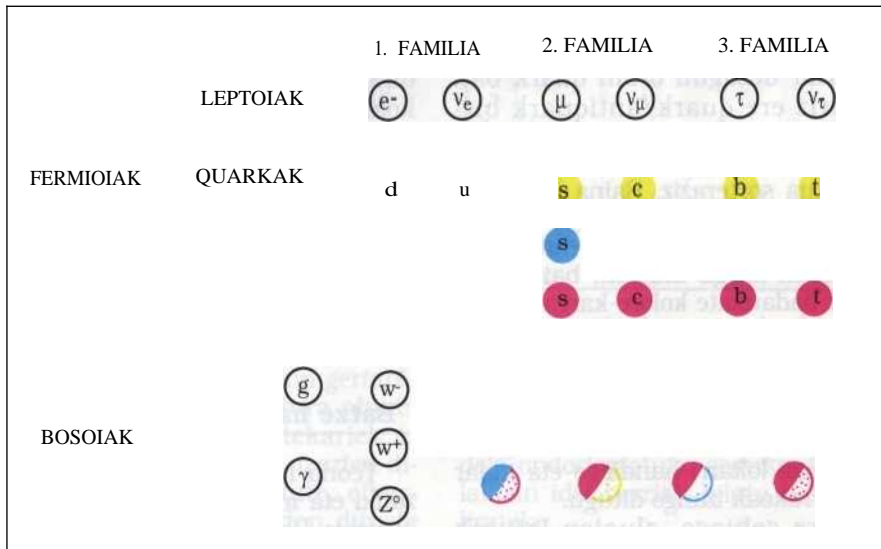
Logikoaenez kolorearen arazoak quark-kopurua biderkatu egiten du. Ikus dezagun: 6 quark bider hiru kolore 18 quark, gehi 6 lepto, 24 zatiki, gehi 24 antizatikiki, 48 oinarrizko zatiki osotara, bosoiak oraindik kontutan hartu barik.

8. irudian ikus daitezkeenez, materiaren oinarrizko zatiki hauek hiru belaunaldi edo familian banatzen dira.

Lau indarrak

Jadanik aipatu ditugu naturaren lau indarrak eta beren bosoi bitartekariak. Azter ditzagun orain sakonkiago.

Indar grabitatorioak zatiki guztiei eragiten die. Grabitazioa garrantzitsua den zatiki grabitoia da. Oraingo ez da grabitoi bat bera ere detektatu, guztiz iheskorak dira eta. Izan ere indar baten irispidea trukaturako bitartekariaren masaren araberakoa da. Zehatz esanda, bosoi zenbat eta astunagoa izan,



8. irudia.
Unibertsoko oinarritzko zatiki ezagun guztiak. Fermioiak hiru familia edo belaunalditan banatzen dira. Gluoi urdina/antiurdina ez da beharrezkoa, horia/antihoria eta gorria/antigorriaren birkonbinaketa delako. Izan ere koloreak dira hiru hauek.

hainbat eta laburragoa da indar grabitatorioaren irispidea infinitu dela onartzen denez gero, grabitazioaren masa zero izango da.

Indar elektrikoaren irispidea ere infinitu da eta karga elektrikoak duten zatiki guztietan du eragina. Bitartekariak, fotoiak, ez du ez masarik eta ez kargarik ere.

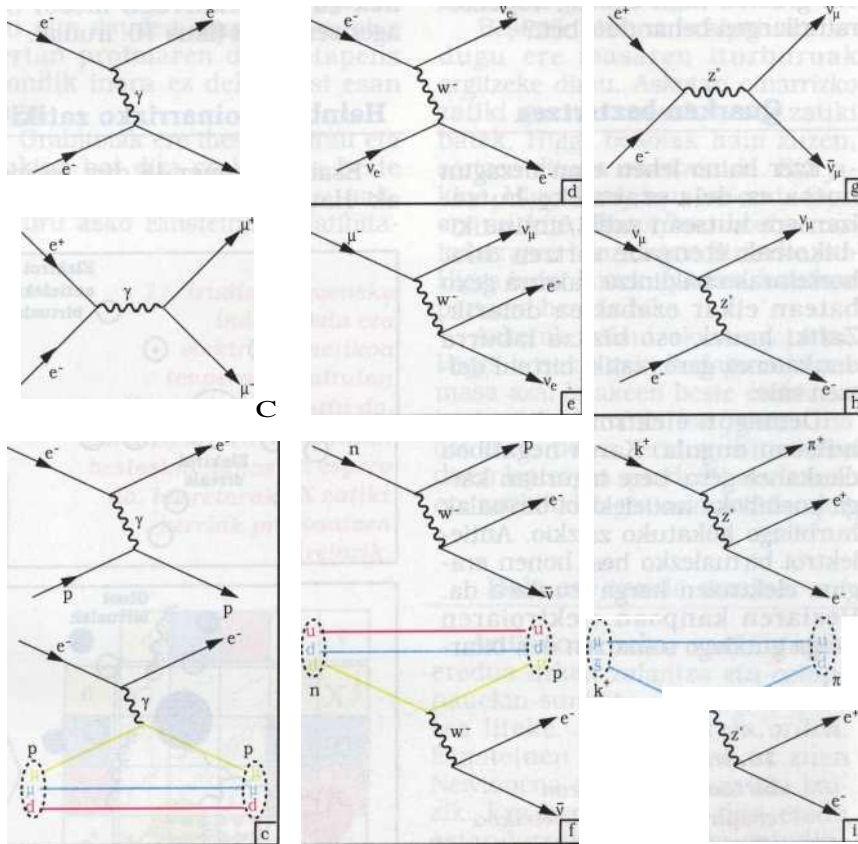
Askoz irispide laburragokoa da indar ahula (10⁻¹⁶ cm baino gutxiago hain zuzen). Horregatik bitartekariak 81 eta 93 GeV-eko masa dute. Indar honek leptoi bat beste leptoi bat bihurtu dadin ahalbidetzen du. Era berean, quark batek zaporea alda dezan eragiten du. Hauetako elkarrekintza askotan karga garraiatu behar duenez gero, hiru bitartekari ezberdin ditu, hots, karga positiboa garraiatzen duen W⁺, karga negatiboa garraiatzen duen W⁻ eta neutroa den Z⁰.

Protoiak eta neutroiak atomoaren nukleo barruan mantentzea, indar bortitzaren lana da. Horretarako mesoiak darabilzki bitartekari. Baina dagoeneko badakigu hadroiak zein mesoiak barne-egitura daukatela. Beraz, alegiazko indar bortitz hau ez da benetakoa; zatiki

haien barruan gertatzen diren elkarrekintzen ondorioa baizik. Benetako indar bortitza quarken artean dagoena da eta beronen berreiztasunak azaltzen dituen teoria Kromodinamika Kuantikoa (QCD) hitzez izendatzen da.

Kromodinamika kuantikoa. ~CD

Indar ahula bai leptoiak eta bai quarkek ere pairatzen dutela azaldu berri dugu. Indar bortitza, ordea, quarkek soilik jasaten dute.



9. irudia. Hiru indarren zenbait adibide. a, b eta c elektromagnetikoak dira; d, e eta f ahul kargatuak; g, h eta i ahul neutroak eta jeta k bortitzak. Hadroiak parte hartzen duten horietakoetan quarken lana koiore-aldaketak kontutan hartu gabe zehaztu dugu. Indar bortitzaren eraginez quarkei etengabe aldatzen zaizkie koloreak.

Are gehiago, indar ahulak quarcken zaporeak aldarazi bazituen ere, indar bortitzak, bere aldetik, koloreak aldarazten dizkie. Horretarako koloreak garraiatzeko gai izan behar dute. Hiru koloreen arteko konbinazioak ahalbideratzeko zortzi bosoi bitartekari izan behar dira. Gluoi deritze eta ez daukate ez masarik eta ez kargarik. Aldiz, badute kolorea edo, hobeto esan, kolore eta anticolore bat. Gluoiak ere, quarkak bezalaxe, ez dira egundo ere isolaturik ikusi (ikus 5., 8. eta 9. irudiak).

Lehenago azaldu dugun arrazonamenduaren arabera, gluoiak masarik ez daukatenez gero, indar bortitzaren irispideak infinitu izan beharko luke. Errealitatea ordea, bestelakoa da; oso irispide motza bait du (10-13 cm-koa hain zuzen). Horiek horrela, berez etxe infinitua eduki behar luketen gluoiak espetze txiki batekin konformatu behar dute. Eta berdin-berdin gertatzen zaie beren lankide quarkiei. Zergatik indar bortitzaren morroiek (quarkek eta gluoiak hain zuzen), espeteraturik egon behar dute beti?

Quarken baztertzea

Ezer baino lehen esan dezagun hutsa ez dela erabateko hutsa. Izan ere hutsean zatiki/antizatiki-bikoteak etengabe sortzen dira, horretarako baldintza bakarra gexu batean elkar ezabatzea delarik. Zatiki hauek oso bizitza laburra daukatenez gero, zatiki birtual deitzen zaie.

Demagun elektroizolatu bat hutsean dugula. Karga negatiboa daukanez gero, bere inguruan karga positiboko antielektroi birtualak hurbilago kokatuko zaizkio. Antielektroi birtualezko hesi honen eragina elektroien karga leuntzea da. Hesiaren kanpoan elektroien karga gutxiago somatzen den bitar-

tean, hesi barruan izugarria litza-teke elektroizolatuaren karga.

Har dezagun orain quark bat. Berriz ere quark/antiquark birtualen bikoteek inguratuko dute, ikusitako kolore-kargaren ahultze-efektua sorteraiz. Baina kasu honetan berezitasun bat dago. Fotoiek ez dute kargarik eta ez dute elektroien karga ukitzen, baina gluoiak badaukate kolore-karga. Beraz, quarkaren inguruan gluoi birtualak ere kokatuko dira, eta karga leundu beharrean gogortu egingo dute. Ondorioz quarkak zenbat eta urrunago jarri, hainbat eta gluoi gehiago, lokarri handiago eta indar gogorrakoa izango ditugu.

Are gehiago, gluoiaren loturak apurtzeko eta quarkak aldenerazteko behar den energia, hutseko quark/antiquark-bikote birtuala erreal bihurtzen behar den energia da. Horregatik hadroietik quark bat erauzten dugunean beste quark eta antiquark bat ere sortzen ditugu, elkarrekin birkonbinatu egiten direlarik. Horrela, quark askea eduki beharrean mesoi bat agertzen zaigu (ikus 10. irudia).

Hainbeste oinarrizko zatiki?

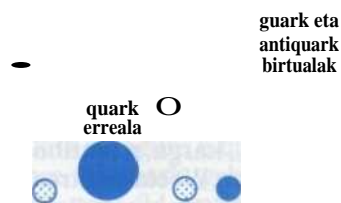
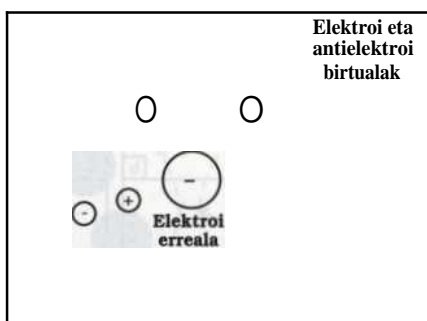
Esana dugunez 48 dira fermioiak. Hauei grabitoia, fotoia, W^+ , W^- ,

Z^0 eta zortzi gluoiak gehitu behar dizkiegu; 61 zatiki orotara. Ez al dira zatiki gehiegi, denak oinarrizkoak izan daitezten? Izan ere gizakiaren ametsa errealitate osoa zatiki bakar batera eta indar bakar batera laburbiltzea da. Baina hain bakuntasun handi eta dotoretik urrutu gaude oraindik. Esanak esan, badaude zatiki guzti horiek harremanetan jartzen dituzten teoria batzuk.

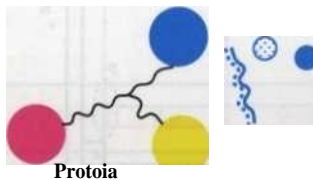
Batze handiko teoriak. BHT

Teoria hauen arabera, hainbeste zatiki eta indar desberdin egotearen arrazoia Unibertsoaren temperatura hotza da. 1015 GeV-eko energia lortuko bagenu, leptoi- eta quark-belaunaldi bakar bat ukanen genuke, zatiki-mota biak elkartrukagarriak lirateke eta indar bakarrak (grabitazioaz gain) eragingo luke.

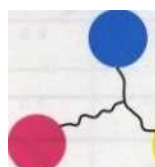
Pentsa dezagun ur, alkohol eta merkurioz betetako ontzi bat dugula. Hiru likidoak berdintsu ihardungo dute giro-temperaturan. Baina temperatura jaitsi ahala, ura solidifikatu egingo da iharduera ezberdina agerian utziz. Gero merkurioa ere solidifikatu egingo da, bere portaera ezberdina erakutsiz. Azkenean hirurak solidifikatu gero, guztiz desberdin ihardungo



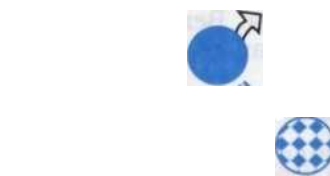
Gluoi
• ~y birtualak



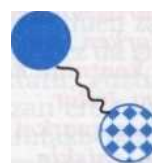
Protoia



Protoia



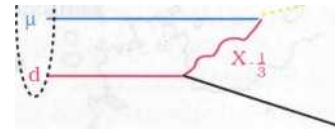
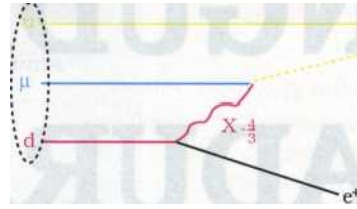
quark eta antiquark errealak



Mesoia

10. irudia. Karga birtualezko hesiaren eraginez, karga elektrikoa distantziaren arabera ahuldu egiten da. Gluoiak ere kolore-kargarik badaukatez gero, guztiz kontrako da emaitza: distantziaren arabera kolore-karga gogortu egiten da. Azkenik, quarka erauzi beharrean mesoi berria sortu egiten dugu.

12. irudia. Protoia deuseztatzeko bide bi. Horrelakorik detektatzeko hainbat saiakuntza egin arren, osasuntsu dirau protoiak oraindano. Ez dirudi hiltzeko irrikaz dagoenik.



dute eta inork ez du hasieran berdintsu zirela antzemango.

Antzekoa da indarrekin gertatutakoa ere. Oso tenperatura altuan indar bakarraren bitartekariak ez daukate masarik, baina izozten direnean masa hartzen dute, elkarrekintza batzuk galerazten dituzte eta indarrak zein zatikiak bereiztu egiten dira. Eta, esan dugun legez, gure Unibertsoa hotzegia da.

Orain arte azaldu ditugun zatikien elkarrekintzak eta bitartekariak 11. irudian erakusten den eran batu ahal dira. Hor ikusten denez, erabateko batasuna lortzeko quarkak leptoi, eta alderantziz, bihurtuko lituzkeen 12 bosoi berri beharko genituzke. Baina zatiki horiek sortertzeko 1015 GeV-eko energia beharrezkoa da eta egun lor daitezkeen energiarik handiena 10⁴ GeV-ekoa baino txikiagoa da. Zelan egiaztatu, beraz, proposatutakoa?

Teoria honen arabera quarkak leptoi bihurtu ahal izango balira,

protoiak ezin izango luke bizitza infinitu eduki. Leptoia emanez deuseztatu egin beharko luke (ikus 12. irudia). Protoi baten heriotzaren lekuko bagina, teoria zuzena dela ondorioztatuko genuke, bestelakoan ideei bernak bilatu beharko lirateke.

Oraingoz, egia esan, egin diren esperimendu guztietan ez da horrelakorik ikusi. Beraz, protoiaren bi zitzak 10⁴⁰ urtekoa baino luzeagoa dela dirudi.

Ebazteke dirauten arazoak

Ez dira gutxi erantzun egokiaren zain dauden arazoak. Orainxe bertan protoiaren deuzestapena inondik inora ez dela ikusi esan dugu.

Grabitoiak ere iheskor dirau eta makina bat dira grabitazioa beste indarrekin batzeko zailtasunak. Seguru asko Einsteinen Erlatibita-

te Orokorrari buruzko teoria zertxobait aldatu egin behar da gertakariak oso distantzia laburretan agitzen direnean. Azken hau proposatzen duten teoriak, fermioiak bosoi bihurtzeko zatiki berriak eskatzen dituzte. Horrela superzatiak bakarraren eta indar bakarra edukiko genduke. Baina oraingoz ezin ditugu egiaztatu.

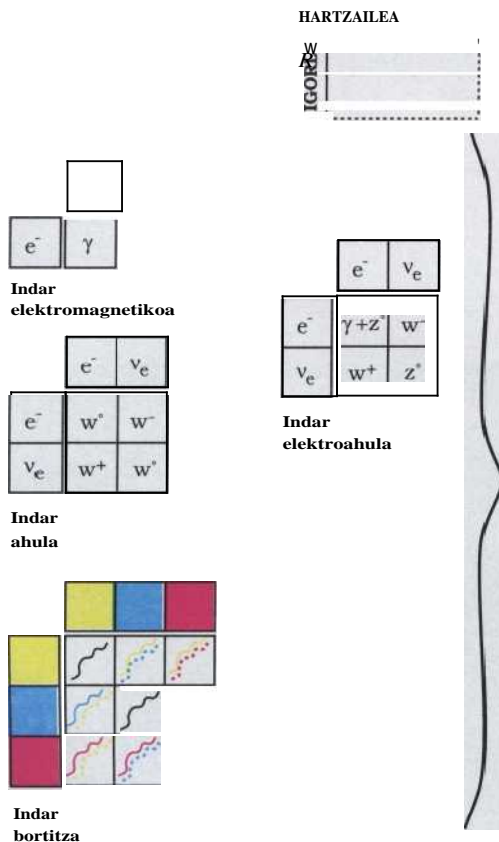
Ba ote dago ezagutzen diren hiru belaunaldiak baino gehiago? Azken emaitzen arabera, hiru bakarrak egoteak segurua dirudi. Hala ere mundu osoa eraikitzeko lehen fermioi-belaunaldia nahikoa bada, zergatik daude beste bi? Zertarako gura ditugu?

Bestetik, orain arte aipatu ez badugu ere masaren iturburuak argitzeke dirau. Askotan oinarrizko zatiki guztien masak beste zatiki batek, Higgs bosoiak hain zuzen, sortzen dituela onartzen da. Eta jakina, Higgs bosoi hau ere ez da inon ere aurkitu. Bosoi hau bostgarren indarraren bitartekaria litzateke, eta Higgs indar honek, gainera, nahikoa portaera berezia luke.

Azkenik, zalantzak areagotzeko, Higgs bosoiak gain badago zatikien masa azal lezakeen beste erabidea: beste egitura-maila bat jaitea. Ba ote dira, beraz, erabat oinarrizko diren leptoi eta quarkak, ala hauek ere zatiki txikiagoz osaturik daude?

Hala ere teoria sendoa

Artikuluari zehar eraiki dugun ereduaz azken zalantza eta oztopo hauekin suntsitu egin dugula pentsa liteke. Ez da horrela ordea. Einsteinen grabitazioak ez zuten Newtonena ezeztatu; murriztu baidetik. Era berean, ugari dira eredu estandarrek arrakastaz gainditu dituen frogak. Horregatik, ezpairik gabe aldatetak behar izango badiugu ere, oro har bide zuzenetik dabilera dirudi. Eta gainera, aipatutako zalantza oro argituko bagenu, inoiz izango ote da ezer galdetzekorik ez dagoen garaia? Antza denez dudamudatan bizitzera kondentaturik gaudela etsipenez onartu egin beharko dugu. E



11. irudia. Dagoeneko indar ahula eta elektromagnetikoa tenperatura altutan berdinak direla frogatu da. Bortitza ere 10²⁸ gradutan besteekin nahastea espero da, horretarako X zatiki berriak proposatzen direlarik.

