

Halabeharrez XX. mendean topatutako
XXI. mendeko fisikaren zati bat da soken teoria.
Edward Witten.

... eta halako batean sokak agertu ziren

Gorka Azkune Galparsoro

EHUko Informatika Fakultateko ikaslea



NASA

Pasatu den mendean fisikak izan duen aurrerakada edozein txunditzeko modukoa izan da. Mekanika kuantikoaren eta erlatibitate orokorraren bitartez, gizakiak bizi den unibertsoaren aurpegi ezezagunenak bistaratu ditu.

BERE AUSARDIAN HAIN URRUN JOAN DA, ezen kasik unibertsoaren jaiotza ere deskribatu ahal izan duen. Baina puntu horretan zailtasun handi batekin egin du

topo: erlatibitate orokorraren eta mekanika kuantikoaren arteko ezinikusia. Bi horien arteko tirabirak konpontzeko jaio zen, hain zuzen ere, soken teoria. Eta bere garapenean, ondorio pentsaezinetara eraman gaitu. Beraz, sar gaitezen gizakiaren adimenak asmatu- turiko abentura kitzikagarri horretan.

Soken teoriaren oinarriak

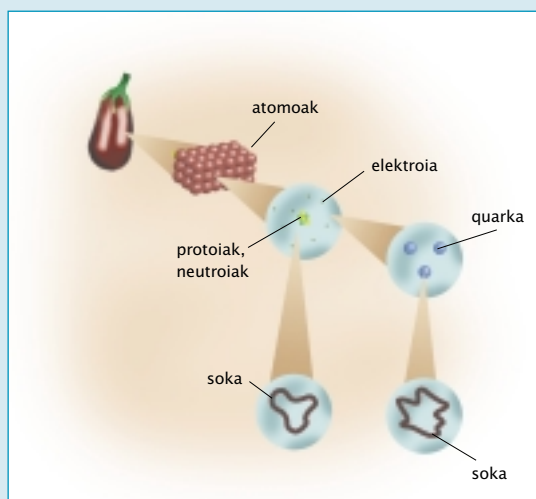
Denok ezagutzen ditugu elektroiak eta protoiak, ezta? Joan den mendean, protoiak quark izeneko partikulaz osaturik daudela ere ikusi genuen. Horrela, elektroiak eta quarkak materiaren adreiluak direla esan izan da, hots, oinarriko partikulak, zatietzenak, beste inolako egiturarik gabeak. Hori da mekanika kuantikoak dio-

ena, baina soken teoriak ez du berehalakoan onartuko. Azken horren arabera, oinarrizko partikula deiturikoak ez dira soka dimentsiobakar txiki batzuen bibrazio-egoeren agerpen bat besterik (1. irudia). Beste modu batera esanda, unibertsoaren adreiluak hamar dimentsioko espazio-denboran bibratzen duten dimensio bakarreko soka txiki batzuk dira! Horrela esanda, bat-batean kontzeptu berri eta ezezagun pilo baten aurrean jartzen gara. Baina lasai, astiro-astiro askatu-ko baitugu anabasa izugarri hau.

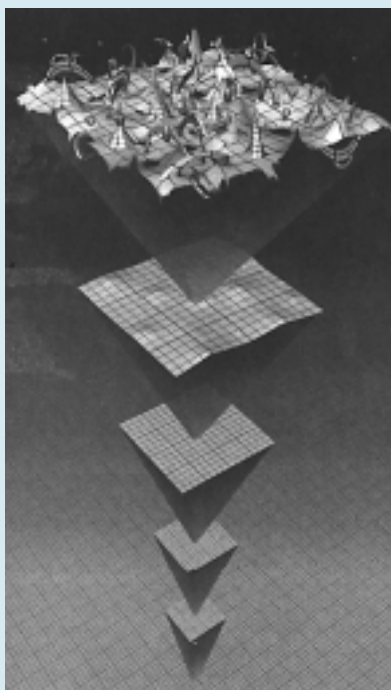
Aipaturiko premisa horien gainean, soken teoriak naturan behatzen ditugun lau indar-eremu nagusientzat azalpen bat eta bakarra eskaini nahi digu, hain desiratu den eremuen bateratze-teoria bilakatuz. Lau eremu horiek grabitatorioa, elektromagnetikoa, nuklear bortitza eta nuklear ahula dira (eremuen ezaugarriak eta teoriak 1. diagraman). Nola lor dezakegu, ordea, bateratzea soken teoriaren bidez? Erantzuna ulertzeko, jo dezagun orain arte topatu diren arazoak aztertzeraz.

Erlatibitate orokorra vs mekanika kuantikoa. Arazoak bistartzen

Bi teoria horiek, formulatuta dauden moduagatik, ezin dira bata bestearekin erabili. Alde batetik, erlatibitate orokorrak espazio-denboraren geometria darabil eremu grabitatorioaren eraginak azaltzeko. Bestalde, mekanika kuantikoak partikula indar-eramaileak jartzen ditu hainbat elkarrekintzaren protagonista gisa, geometria arbuatuz. Partikula horiek bosoi deiturikoak dira eta horien existentzia esperimentalki frogatua dago (1. diagrama). Hori dela eta, eremu grabitatorioaren bosoi ere jada postulatu izan da: grabitoia. Baina naturak oraindik ez digu hori ikusten utzi; are gehiago, erlatibitate orokorrak ez du bere ekuazioetan partikula horrentzat lekurik uzten, eta hor sortzen dira arazoak.



1. irudia. Materiaren konposizioa soken teoriaren arabera.



2. irudia. Espazioan distantzia txikiagoak hartzen ditugun heinean, fluktuazio kuantikoak nabarmenagoak dira. Irudiko maila bakoitzak aurrekoak baino distantzia txikiagoa adierazten du.

Bestalde, badago oso oinarrizko printzipio bat mekanika kuantikoan: Heisenberg-en ziurgabetasunaren printzipioa. Horren arabera, partikula baten posizioa eta momentua (masa x abiadura) ezin dira une jakin baterako zehaztu. Momentua zehazteko zehaztasun handiagoak posizioan ziurgabetasun handiagoa dakar, eta alderantziz. Ondorioz, badaude espazioan fluktuazio

“soken teoriaren arabera, unibertsoaren adreiluak hamar dimentsiotako espazio-denboran bibratzen duten dimensio bakarreko soka txiki batzuk dira”

kuantiko deituriko desoreka-egoera batzuk. Horiek espazio hutsean, masa eta eremurik gabe, agertzen dira, eta benetan agerikoak dira distantziak oso-oso txikiak direnean (10^{-33} cm=Planck-en distantzia. Kontuan izan espazioan distantzia txikiagoak aztertzeak, hots, zehazteak, momentuan ziurgabetasun handiagoa dakarrela, eta horrek espazio hutsean masak sortzea dakar. Mekanika kuantikoak masen sorrera hori 'bermatzen' du. Hortik datoz fluktuazioak. 2. irudia).

Fluktuazio horiek eremu guztietan dute eragina, grabitatorioan barne. Hona hemen bi teorien arteko arazorik handiena. Erlatibitate orokorraren arabera, espazio-denboraren kurbadurak zehazten du erakarpen grabitatorioa. Kurbadura hori masaren funtzioan dago, hots, masa handiagoa duten gorputzek kurbadura handiagoa sortuko dute eta erakarpena indartuko da.



Baina espazio-denbora huts bat, inongo masarik gabea, laua da. Horrek aurrez aurre egiten du topo fluktuazio kuantikoekin. Ereku grabitatorioan, Planck-en distantziara fluktuazioak oso nabarmenak dira mekanika kuantikoan. Horrek erlatibitate orokorraren esparruan espazio-denboraren kurbadura handiak sorrarazten ditu, bere postulatuen aurka joanez.

Beraz, distantzia oso txikiak eta masa handiak inplikatzeko arazoetan —zulo beltzen bihotza eta unibertsoaren sorrera kasu— erlatibitate orokorra eta mekanika kuantikoa batera erabili beharrez aurkitzen gara, baina ezinezkoa zaigu arestian azaldu dugunagatik. Ez da ahantzi behar eremuaren bateratze-teoria baten bilaketan ere arazo hori oso garrantzitsua dela, grabitatearen beste hiru indarrekiko ezberdina izango bailitzateke bi formulazio ezberdin horiek kontuan hartuta. Urteetan zehar ezin izan zaie arazo horiei aurre egin, baina halako batean, sokak agertu ziren.

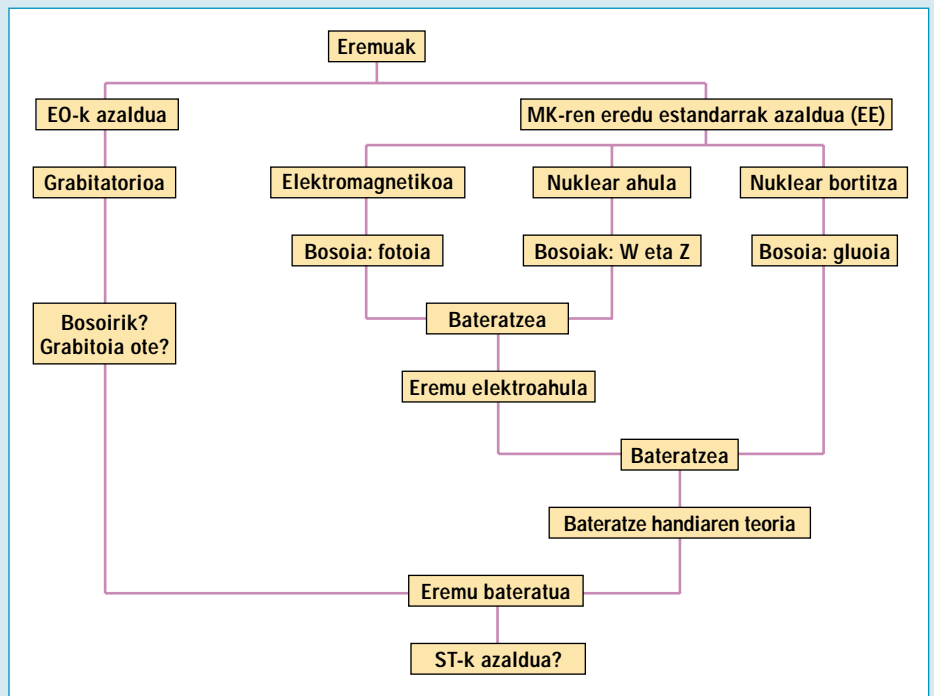
Soken teoriaren kontzeptu garrantzitsuenak

Mekanika kuantikoaren eredu estandarren bitartez lau eremuaren bateratze-teoria bat bilatu den arren, indar ez grabitatorioak bateratzen zituzten teoriak bakarrik izan dute arrakasta (1. diagrama). Hori, noski, ez da nahikoa ordea. Non huts egin du teoriak? Neurri handi batean oinarritzko partikulei forma puntuala ematean. Soken teoriaren meritu handienetakoa puntuen ordez luzera bat duten sokak postulatzea izan da, eta ondorio oso garrantzitsuak lortu dira:

1. Erlatibitate orokorraren eta mekanika kuantikoaren arteko bateraezintasuna konpontzen duela dirudi.
2. Bateratze-teoria posible bat aurkezten digu, eta materia eta eremuak gauza berdin baten agerpenak direla adierazi: bibratzen diharduten sokak.
3. Espazio-denboraren kontzeptua guztiz aldatzen du.

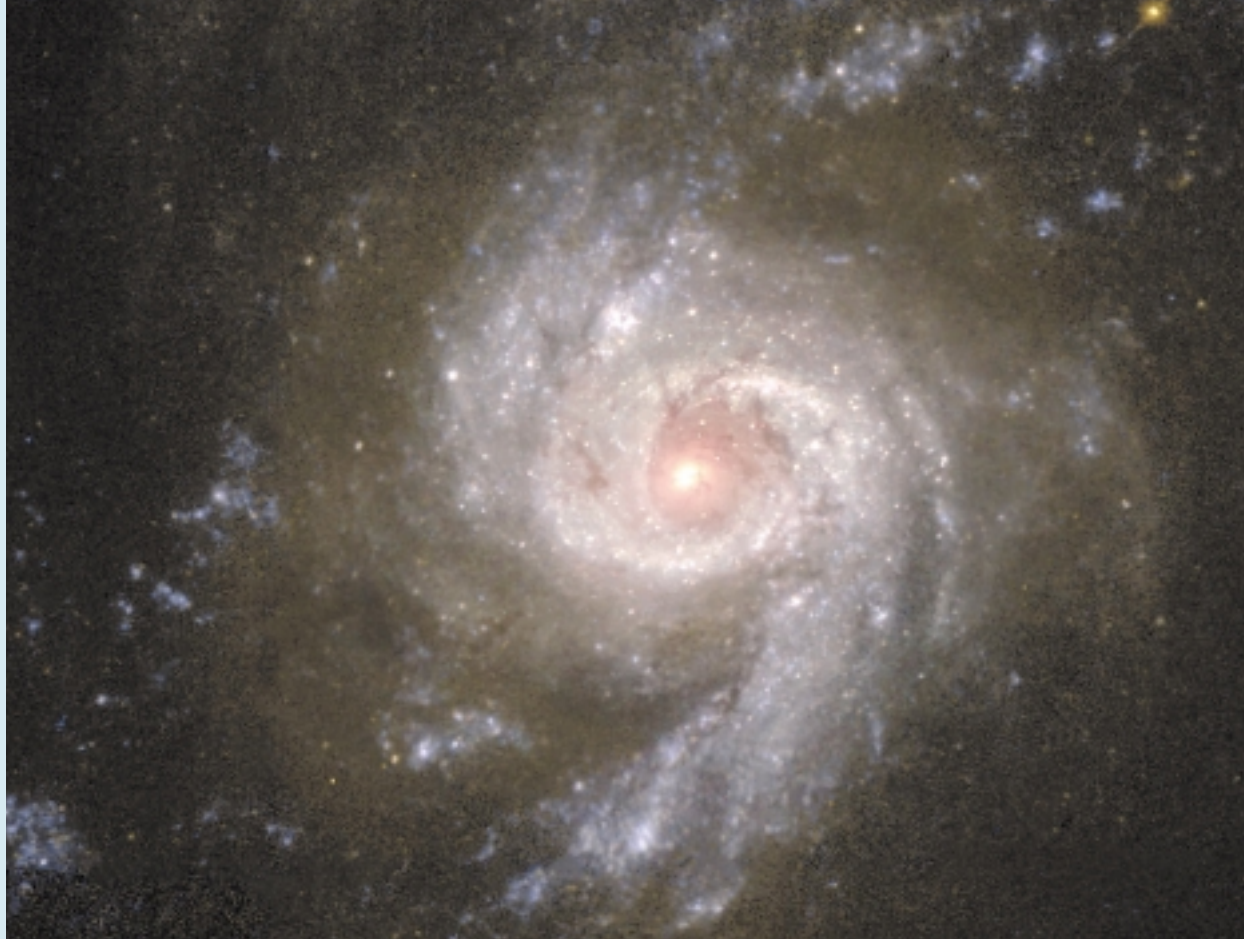
Bestalde, eredu estandarrek badu beste oztopo bat: ezin ditu bere aurreikuspenak azaldu. Elektroiaren masa, karga, partikula-familiak hiru izatea... azalpenik gabeko gauzak dira, teoriaren eraikuntza matematikoa, parametro askeak. Soken teoria, aldiz, anbiguotasunik gabeko teoria da, aurrekoak bezalako aurreikuspenak teoriaren muintetik ezinbestean ondorioztatzen baitira.

Soken teoriaren oinarrian soken bibratzeko gaitasuna daukagu. Esan dugu soken bibratzeko egoeraren arabera, quark bat, elektroia bat edo bosoi bat ere izan dezakegula. Horren analogia polit bat gitarrarena dugu: gure belarriak horren soken bibratzeko bereizten ditu eta nota ezberdin gisa hautematen ditu. Horrela, soken



1. diagrama. Orain arte eremuak deskribatzeko dauzkagun teoriak, horien bateratzeak barne. Oraindik frogatu gabe dauden puntuak galdera-ikurrak agertzen dira.

NASA



Starburst galaxia NGC 3310.

teoriako soken bibrazio-mota batzuek oinarritzko partikulen ezaugarriak adierazten dizkigute, hala nola, haien masa, karga elektrikoa, karga ahula eta kolorea (azken biak eremu ahul eta bortitzarekin eragiteko beharrezkoak diren ezaugarriak), bibrazio-mota bat elektroiarena izanik eta abar. Baina handiena honakoa da: bibrazio-mota horietako bat grabitoiarena da inongo zalantzarik gabe! Horrek esan nahi du soken teoriak eremu grabitatorioa daramala modu natural batean bere eraikuntza teorikoan eta grabitatearentzat teoria kuantiko posible bat aurkezten duela.

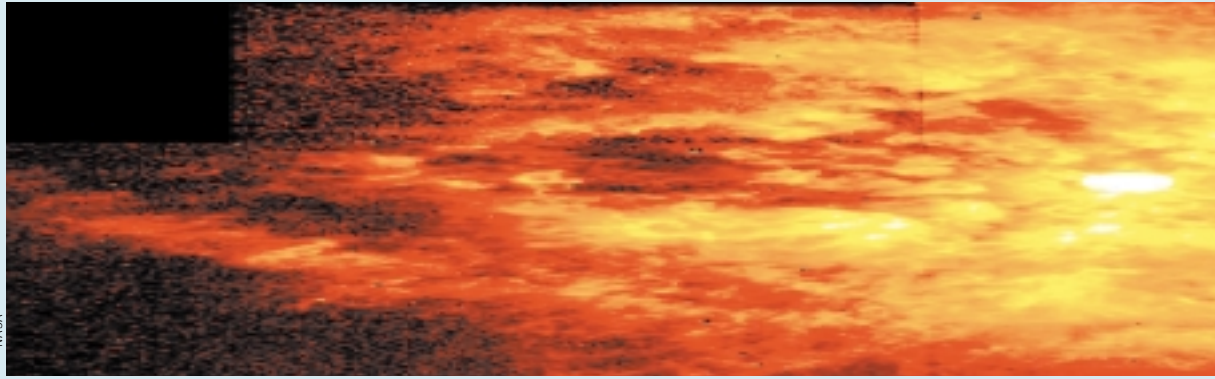
Beraz, partikulen ezaugarriak soken bibratzeko moduak zehazten ditu. Nola azaldu hori baina? Jo dezagun masaren kasura. Soka baten bibrazioaren energia bere anplitudearekiko proportzionala da. Anplitudea gailurraren edo haranaren elongazio maximoa da. Anplitude handiagoentzat, energia gehiago. Einsteinek $E=mc^2$ adierazpenarekin erakutsi zigunez, energia eta masa gauza bera dira. Hots, anplitude handieneko bibrazioek izango dituzte masa handienak. Beste era batera esanda, soken bibrazioen anplitudeek zehaztuko dituzte partikulen masak. Karga elektrikoa bezalako ezaugarriak bibrazioen funtzioan azaltzea, ordea, zailagoa da; eza-gunak ditugun dimentsioak ez ezik, beste sei ere kontuan hartu behar baititugu. Guri, hala ere, lehendabizikoz, soken teoriak oinarritzko partikulek dauzkaten ezaugarrien zergatiak azaltzen dizkigula jakitea interesatzen zaigu. Baina jarrai dezagun teoriaren ezaugarri nabarmenenak aztertzen: soken tentsioa, dimentsio gehigarriak eta supersimetria, besteak beste.

Soken tentsioa

Sokak aztertzerakoan, tentsio deituriko indarra hartu behar dugu kontuan. Indar hori sokek berez duten uzkurdua-indar bat da. 1974an, Scherk eta Schwarz fisikariak grabitoiaren eredua aztertu zuten. Horien aurkikuntza hau izan zen: grabitoiak transmititzen duen indar grabitatorioa bere osagaia den sokaren tentsioarekiko alderantziz proportzionala da. Indar grabitato-

“soken teoria formulatua dagoen bezala, grabitatea bere eraikuntzaren berezko zati bat da. Horrela, lehendabizikoz, grabitatearen teoria kuantiko baten aurrean gaude”

ria lau indarretan ahulena denez, grabitoiaren sokak jasan beharreko tentsioa ikaragarria da, hain zuzen ere, 10^{39} tonakoa! Tentsio horri, Planck-en tentsioa deritzo. Horrek ondorio aipagarri batera garamatza, oso garrantzitsua erlatibitate orokorraren eta mekanika kuantikoaren arteko arazoak ekiditeko garaian. ➔



Tentsioa uzkuadura-indarra denez, soka baten luzera zehazteko ezinbesteko faktorea da. Malguki bat indar handia eginez txikitzen den moduan, tentsio handiek soka txikiak eratzen dituzte. Planck-en tentsioa jasaten duten sokek, 10^{-33} cm-ko tamainak dituzte (Planck-en luzera). Horixe da soka baten luzera minimoa, eta lehenago ikusi dugunez, fluktuazio kuantikoak indartsuen diren distantzia.

“gure espazio-denborako hamar dimentsioetariko sei, 10^{-33} cm-ko forma matematiko batzuetan kiribildurik daude, ageriko lauak hedatuak diren bitartean”

Esandakoa jakinda, jada mekanika kuantikoaren eta erlatibitate orokorraren artean zeuden arazoak konpontzeko gai gara. Giltza? Sokek tamaina minimo bat izatea. Horrela, mikrokosmosaren ezaugarriak behatzeko har dezakegun tamainarik txikiena soka batena da; bere balioa? Planck-en luzera. Soken tamaina minimoa hori izanik, ezinezkoa zaigu distantzia txikiagoak behatzea (behaketak egiteko garaian, beti, behatzen den objektua baino gauza txikiago batez baliatu behar dugu datu ahalik eta zehatzenak jasotzeko. Tamaina horrek minimo bat badauka, distantzia hori baino txikiagoak guretzat ‘ikusezinak’ dira). Beraz, sokarenak baino tamaina txikiagoak ez dira fisikan existitzen, hots, fluktuazio kuantikoak indartsuen bilakatzen diren distantziak alde batera uzten ditugu, erlatibitate orokorraren espazio-denbora lau erabili daitekeelarik.

Soluzioak konbentzitu ez bazaitu, ez harritu (neroni ere zalantzak sortzen dizkit). Baina matematikoki emaitza egokiak ematen dituenek, horrela konpontzen du soken teoriak fisika modernoaren arazo handiena.

10 dimentsioen beharra eta zentzua

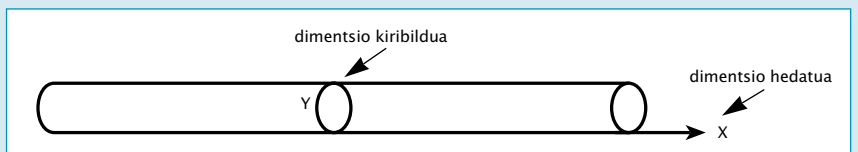
Ziurrenik hasiera-hasieratik harri eta zur geldituko zinen hamar dimentsioen kontua entzutean, ezta? Bada, orain saiatuko gara ondorio harrigarri hori argitzen, itxura denez, ezinbesteko baldintza-eremuen bateratzea lortzeko garaian.

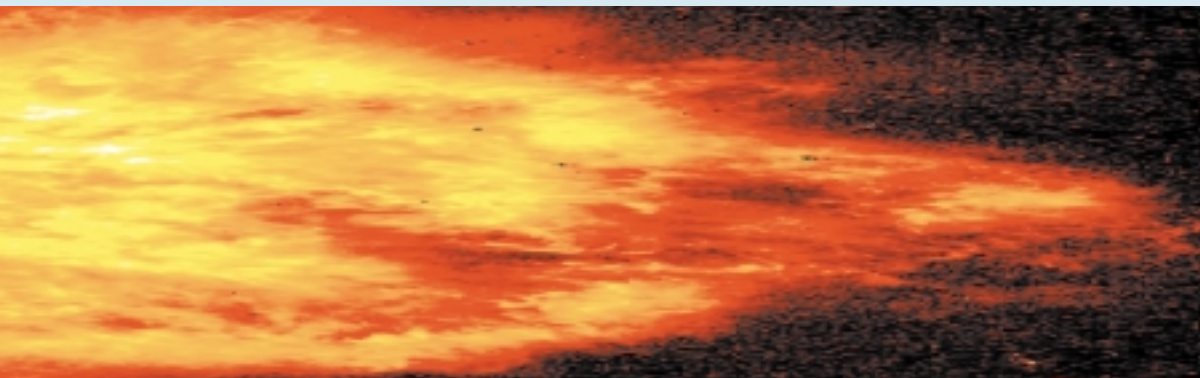
Soken teoriaren arabera, gure unibertsoak espazio-denborazko hamar dimentsio ditu, 9 espazioan eta 1 denboran. Baina azkar asko pentsatuko zenuenez, guk lau bakarrik hautematen ditugu, 3 espazioan eta 1 denboran. Non demontre daude beste seiak? Ikus dezagun horren atzean dagoena.

Demagun gure unibertsoa dimentsio bakarrekoa dela espazioan. Kasu horretan zuzen matematiko bat bezalakoa litzateke. Puntu baten posizioa adierazteko koordenatu bakarra beharko genuke. Gehi diezaigun orain beste dimentsio bat, zilindro baten azalaren kasua (3. irudia). Zilindroaren azalean posizioa zehazteko, bi zenbaki nahikoak dira (zilindroaren barnean ezin gaitzkeela ibili imajinatuz, noski). Hots, bi dimentsioko unibertso bat daukagu. Baina bi dimentsioak berdinak al dira? Ez. Dimentsio bat lineala da, aurrera eta atzera ibil gaitzke, zuzenaren gainean bezalaxe. Baina beste dimentsioan oinez bagabiltza, zilindroari bira eman eta lehengo posiziora itzultzen gara. Beraz, lehen dimentsioari dimentsio hedatua deitzen diogu eta, bigarrenari kiribildua (zilindroaren kasuan kiribildu zirkularra).

Gure munduan ere antzeko zerbait gertatzen da. 10 dimentsioetatik lau (espazioko 3 eta denbora) hedatuak dira, eta beste seiak kiribilduak. Hori ulertzeko,

3. irudia.

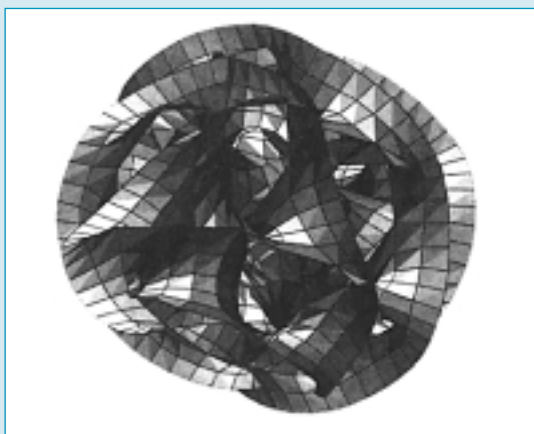




lehendabizi Calabi-Yau forma zer den ikusi behar dugu (4. irudia). Sei dimentsio espazial kiribilduz lortzen den forma matematikoa duzue hori, soken teoriaren aurretik jada matematikoez erabiltzen zutena. Gure espazioko hiru dimentsio hedatuen puntu bakoitzean forma hori irudikatuz gero, tatxan! Hori litzateke gure espazioaren itxura! Baina dimentsio kiribilduen tamaina hain da txikia —Planck-en luzera, hain zuzen ere—, ezen guk ezin ditugula ez ikusi ez hauteman. Sokak, oster, neurri horretakoak direnez, sei dimentsio horiek ere kontuan hartu behar ditugu beraien posizioak zehazteko eta noski, bibrazio-egoerak aztertze.

Horrela, mikrokosmoseko espazio-denboraren geometriak guk behatzen dugun fisika zehazten du. Calabi-Yau formak modu askotakoak izan daitezke, eta forma bakoitzak bere inplikazio fisikoak ditu. Adibidez, aipatu dugu eredu estandarrean hiru partikula-familia daudela. Soken teorian aztertu denez, Calabi-Yau formek dituzten zulo-kopuruen araberrako familia-kopurua behatzen dugu guk. Hau da, familiak benetan hiru direnez, soken teorian harturiko Calabi-Yau formak hiru zulo izan behar ditu ezinbestean. Baina soken teoriak oraindik ez dauka mekanismorik, zein Calabi-Yau forma hartu behar dugun adierazten digunik. Eta noski, mekanismo hori gabe, kalkuluak arbitrarioak eta oso konplexuak bilakatzen dira.

Bestalde, dimentsio gehigarri horiek ezinbestekoak dira soken teorian. Alde batetik, 4 dimentsioko es-



4. irudia. Calabi-Yau formaren adibideetako bat.

pazio-denboran bakarrik formulaturik azaldu diren teoriaren emaitza absurdo asko ezabatzen dituzte (probabilitate kuantiko negatiboekin lotuak). Hori gutxi balitz, karga elektrikoa, karga ahula eta kolorea posible izateko, soken bibrazioak dimentsio horietan ezinbestekoak dira. Hots, lau eremuak bateratzeko beharrezkoa da dimentsio gehiago kontuan hartzea. Ondorio hori jada beste teoria fisiko batzuek azaldu zuten, Supergrabitarearen teoriak (11 dimentsio) eta Kaluza-Klein-en kasu (5 dimentsio, erlatibitate orokorra eta Maxwell-en elektrodinamika bateratuz).

Simetria gorena: supersimetria

Simetriaren kontzeptua oso garrantzitsua da fisikan. Eta, noski, soken teorian ere bai. Beraz, luzamendutan ibili gabe azter ditzagun interesatzen zaizkigun simetriak:

“*dimentsio gehigarriez
gain, supersimetria
ere ezinbesteko faktorea
da eremuen bateratze-
teoria bat osatzerako
garaian*”

Simetria geometrikoak: oro har, espazioarekiko eta denborarekiko ematen diren simetriak dira. Adibidez, errotaziozko simetria dugu hauetakoa. Horren arabera, fisikaren legeak berdinak dira edozein norabidetan behatzen dugula ere. Hots, fisikaren legeak simetrikoak dira errotazioarekiko.

Simetria abstraktuak: indar-eremuetan definitzen diren simetriak dira. Ezagunena *gauge* simetria da, eremu bortitz, ahul eta elektromagnetikoarentzat. Baina guri ez zaizkigu une honetan interesatzen, beraz, alde batera utziko ditugu.

Deskribatu ditugun simetria geometrikoen barnean sartzen da supersimetria. Horrek simetria geometriko berezi bat deskribatzen du, spinaren kontzeptuan oina-

Zer da guztiaren teoria?

Egiazki, guztiaren teoria ez litzateke fisikaren eremuan bakarrik geldituko. Unibertso guztiaren berri eman behar duen unetik, teorikoki bakarrik bada ere, zientzia guztia bere postulatuetatik eratorri beharko litzateke. Horrekin esan nahi dut, unibertsoaren adreiluak nola funtzionatzen duten jakinda, gure gorputzaren jokaera ere ondoriozta daitekeela formula horietatik. Baina, noski, argi dago zailtasun-maila horren handia izango zela, ezen ez lukeela emaitza praktikorik emango. Azken batean, nolabait esatearren, Jainkoak unibertsoa eratzeko erabili zuen formula da guztiaren teoriak aurkitu beharrekoa.

Beraz, fisika osoa ez ezik, gizakiaren ezagutza zientifiko guztiaren zutabe izan beharko luke aipaturiko teoriak. Soken teoriaren kasuan, horren erronkarik handiena mekanika kuantikoak eta erlatibitate orokorrak hain ongi zehazten dituzten fenomenoaren emaitzak ez aldatzea da, eta huts egiten duten puntuetan azalpen egoki bat ematea. Hori pauso garrantzitsua litzateke guztiaren teoria izateko.

rriturik. Spina partikula guztiek duten propietate kuantiko bat da, haien momentu magnetikoa deskribatzen duena. Nolabait adierazteko, partikulak esferatxoak balira, beren ardatzen inguruan izango luketen errota-ziozko mugimendua litzateke (hori benetan ez da horrela gertatzen, partikulek ez baitute horrelako mugimendurik egiten. Azken finean, partikulen magnitude batzuk mugitzen dira modu kuantikoan. Beraz, aipaturiko errota-zioa ez da mugimendu fisiko erreala). Errotaziozko simetriak norabide ezberdinekin egiten duen antzeko zerbait egiten du supersimetriak spinarentzat. Beraz, lege fisikoak simetrikoak dira spinarekiko. Horren inplikazioak harrigarriak dira.

Soken teorian supersimetria aplikatu aurretik bazegoen bibrazio-ereduen artean halako partikula arraro bat: *takioia*. Horren berezitasuna masa negatiboa edukitzea zen, eta hori ez da oso zentzuzkoa. Behin supersimetria teorian aplikatuta, *takioia* desagertu egin zen. Baina kontua ez da hor amaitzen. Ezagunak ziren partikula orok superpartikula lagun bat zuela iragartzen zuen jaio berria zen Supersoken Teorian: elektroia-selektroia, fotoia-fotinoa... horiek behatzeko behar diren energiak, ordea, handiegiak dira gaur egungo teknologiarentzat. Gauzak, hala ere, oraindik urrunago doaz: supersimetria supersoken teorian jaio bazen ere, beste eremuen teorietan ere aplika daiteke. Horrela, eredu estandarren barruan egin zen hiru indar ez-grabitatorioen bateratzean, egiazki, bateraketa ez zen oso-oso. Parametro aske batzuk zeuden, eta, gainera, ez zen bateratze-puntu finko bat existitzen (5. irudia). Baina supersimetria aplikatuz gero, *superbikoteek* beren fluktuazio kuantikoekin ezagunak ziren partikulen fluktuazioak deuseztatzen zituzten; horrela, bateratze-puntu bat finkatzen zen, parametro askeentzat lekurik utzi gabe!

Supersimetriak, ordea, bazuen bere alde txarra. Supersoken teorian supersimetria bost eratara aplika zitekeela ikusi zen. Horrela, bost teoria zeuden: I Tipoa, IIA

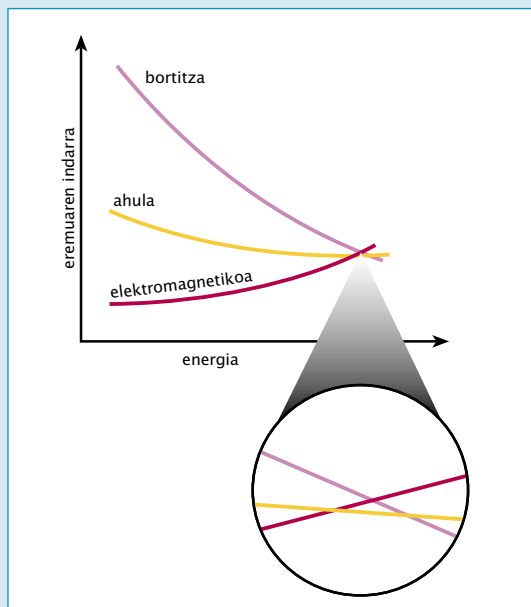
Tipoa, IIB Tipoa, O(32) Heterotikoa eta $E_8 \times E_8$ Heterotikoa. Orain arte azaldu dugun guztia baliozkoa da bost teoria horietarako, horien arteko aldeak nabardura txiki batzuk besterik ez baitira. Baina nahiko lotsagarria da guztiaren teoria izan nahi duen teoriak bost aukera izatea. Hori horrela zen supersoken 2. iraultza iritsi arte.

Supersoken 2. iraultza. M teoria

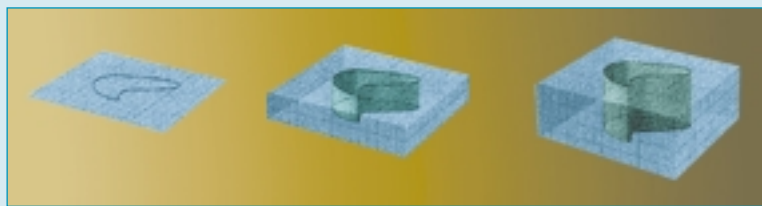
1995ean izan zen iraultza hau, bigarrena supersoken teoriaren historian. Supersoken teoriak badu bere ahulezia. Ekuazioak horren zailak dira, ezen gaur egun erabiltzen direnak benetakoen gerturatze hutsak besterik ez diren. Hori da bost teoria horiek egoteko arrazoiatariko bat. Iraultza honetan, Ed Witten-ek metodo

“supersoken 2. iraultzak teoriaren bilakaeran beste pauso bat eman zuen: M teoria. Lehen aldiko arazoak konpontzeaz gain, hori ote da fisikaren azken teoria?”

bat asmatu zuen kalkuluak zehatzagoak izan zitezten, eta honakoa ikusi zuen: bost teoriak elkarren osagarriak dira! Ezaugarri horri supersoken teoriaren dualitatea deitu zitzaion. Laburki azaltzeko: supersoken teorian bada



5. irudia. Energiak gora egin ahala, hiru indarren intentsitatea berdinduz doa, eta une batean elkartu egiten dira. Irudian agertzen da nola bateratze-puntua ez den existitzen supersimetriarik gabe.



6. irudia. E8xE8
Heterotikoan sokaren
2. dimentsioak hartzen
duen forma energia
handiagoko behaketetan.

akoplamendu konstante deritzon parametro bat, bost teorientzat bera. Horren balio kritikoa 1 da. Hots, balioa 1 baino txikiagoa bada, iraultza baino lehenagoko kalkuluek funtzionatzen zuten. Baina ezinezkoa zen 1 baino balio handiagoentzat emaitzarik lortzerik. Beraz, bost teoriak 1 baino balio txikiagokoentzat bakarrik funtzionatzen zuten. Witten-en sistemak hori konpondu zuen. Horrela, teoria batek deskribatzen zuen fisika akoplamendua 1 baino handiagoa zenean, beste batek 1 baino txikiagoentzat deskribatzen zuenaren berdina zela ikusi zen. Haren guztiaren atzean zerbait ezkutaturik zegoelakoan, Witten-ek teoria berri bat aurreikusituen, aurreko bost teoriaren atzean omen zegoena. Harribitxi horri M teoria deitu zion.

Teoria berri honen ezaugarri batzuk jada bistaratu dira, baina etorkizunean ikusiko dugu benetan existitzen den eta bera ote den azkenik bateratze-teoria. Oraingoz, jada badakigu M teoriak 11 dimentsio eskatzen dituela. Aurreko teoriak gehitzen den dimentsioa sokaren egituraren barnean dago, hots, sokak dimen-

tsio bakarrekoak izateari utzi eta bi dimentsioko mintz bilakatzen dira. Dimentsio horren forma supersoken teoriaren bost teoriatan modu ezberdinean ematen da (6. eta 7. irudiak). Oraindik ikusteko dago zer inplikazio ekarriko dituen M teoriaren bilakaerak. Askok jada XXI. mendeko fisikaren erronkarik handiena izango dela esan dute. Ba ote?



7. irudia. IIA Tipoa gertatzen dena.

Amaitzeko

Supersoken teoriaren alde onak agerian jarri dira: materia eta eremu guztiak deskribatzeko gai da, mekanika kuantikoa eta erlatibitate orokorra errespetatuz, eta grabitatearen teoria kuantiko bat mahaigaineratuz. Bateratze-teoria izateko hautagai onena da gaur egun.

Alde txarrak ere badaude, ordea. Teoria oraindik amaitu gabe dago, bere garapen-prozesuan murgildurik dago; beraz, inork ez daki bere azken forma nolakoa izango den. Eskatzen duen matematika oso konplexua denez, teoriaren forma zuzena topatzea ere ez da, ez, lan makala. Eta, azkenik, fisikan beti harmoniaz eman den prozesu bat hausten du: esperimenteratzaileen eta teorikoen arteko elkarlana. Teoriaren aurreikuspenak energia-maila oso garaietan bakarrik beha daitezkeenez (hor gertatzen baita bateratzea), emaitzak ezin dira esperimenteralki frogatu; ez gaur egun behinik behin. Hemen, hala ere, badugu bide bat: unibertsoa behatzea. Baina zer beha daiteke? Aukera franko dago: superbikoteak, karga zatikiarreko masa handiko oinarriko partikulak (horietariko gutxi egon arren, posible da Big Bang-etik hona batzuek iraun izana), supersoken teoriak kosmologian egiten dituen aurreikuspenak, zulo beltzentzat proposaturiko teoriak... horrelakorik baieztatzea gauza handia litzateke teoria berri honentzat. Baina beste behin ere *espazio-denbora* izango da gure epaile. Zer gertatuko ote da?

Supersoken teoriaren historia motz bat

1968an Gabriele Veneziano italiar gazteak formulatu zuen lehen sokaren teoria, eremu bortitza aztertzeko tresna bezala. Eredu estandarren arrakasta zela eta, ordea, teoria ahaztu egin zen urte batzuetan. Baina 1970eko hamarkadan, Schwarz-ek eta Scherk-ek teoria azterten jarraitu zuten. Horrela, 1974an birazio-ereduetariko bat grabitoiarena zela ondorioztatu zuten. Horrek bultzakada ederra eman zien sokeni.

Baina 1980ko hamarkadan izan zuen supersoken teoriak bere unerik onena jaiotzez gero. 1984an, zailtasun batzuk gainditu ondoren, supersoken teoriak lau indarrak eta materia guztia bere barnean hartzen zituela ikusi zen. Ondorengo bi urteko denbora-tarteari supersoken teoriaren 1. iraultza deitzen zaio.

1980ko hamarkadaren amaieran eta 1990ekoaren lehen urteetan, ordea, bost teoriaren kasua zela eta, supersoken teoria berri ere gaizki ikusia izan zen. Baina orduan agertu zen Ed Witten-en aurrerapena, M teoriaren aurreikuspena eta horrekin bost teoriaren dualitateak. Horrela, 1995ean supersoken teoriaren 2. iraultza iritsi zen.

Gaur egun, oraindik ere iraultza horren arrastoak atzetik dabilta sokazaleak. Etorkizunak zer emango zain gaude, historia motz honi amaiera polit bat emateko asmoz.

BIBLIOGRAFIA

BRIAN GREENE (1999)
The Elegant Universe. Vintage Books 2000.

BARRY PARKER (1986)
El sueño de Einstein. Cátedra argitaletxea 1990.

SHELDON L. GLASHOW (1991). *El encanto de la física*. Tusquets Editores 1995.

P. C. W. DAVIES
ETA J. BROWN (1988)
Supercuerdas, ¿una teoría de todo? Alianza 1990.

KIP S. THORNE (1994)
Agujeros negros y el tiempo curvo. *El escandaloso legado de Einstein*. Critica 1995.