

# MASA GALDUAREN KANDIDATU EXOTIKOAK

Jesus Arregi

Materia ikustezinaz ari garenez, pentsatzekoa da materia hori itxura ez-arruntean agertuko dela; bestela ez litzateke hain detektagaitza. Azken alean zenbait zatikiren aipamena egin genuen materiaren itxura berezi horien adibidetzat. Baina zatikiez hitz egiterakoan mekanika kuantikoaren objekzio guztiak kontuan izan behar baditugu ere, beti lor dezakegu nolabaiteko adierazpide bat. Orain deskribatzen saiatuko garen enteak, berriz, zeharo izaera ezberdinekoak ditugu: monopoloko magnetikoak ditugu. Akats hauen sorreraren azterketak, gainera, Unibertso beraren hasierako aldiuntararte garamatza. Uste denez, akatsak big-bang leherketa gertatu ondorenko  $10^{-35}$  segunduan hasi ziren eratzen.

Lanean hasteko, lehenengo hutsaren kontzeptua zehaztu beharko dugu pixka bat. Hutsaz hitz egiterakoan ez dugu ezerez *ideal* irudikatu behar. Kuantikaren arloan deskribapena nahikoa zaila da, Heisenberg-en ziurgabetasunaren printzipioak hutsak berezko egitura izan dezan aukera ematen duelako. Printzipio honen bertsio baten arabera fenomeno baten azterketan ezin daiteke zein aldiunetan gertatu den eta energi balantzea zein izan den zehaztasun osoz finkatu. Zehatzago esanda: energi balantzearen balioaren ziurgabetasunaren eta aldiu-

nearen ziurgabetasunaren biderkadurak ezin du Planck-en konstantea baino haundiagoa izan. Fenomenoaren iraupena oso laburra bada, energiaren ziurgabetasuna haundia da. Beraz, epe laburrak kontsideratuz huts mekanikoak energia izan dezake. Energia horrek zatiki-antizatiki bikoteak sortera ditzake, adibidez. Are gehiago, gaur egungo zatiki-teoriak Higgs-en eremu deitzen diren existentzia aurratsen dute. Eremu hauek hutsari datxekie, hau da, hutsaren egituraren parte dira eta beraien balioen arabera hutsak energi egoera ezberdinak har ditzake, hala nola, gure azalpenetan erabiliko ditugun benetako hutsa eta huts faltua.

Akats topologikoak zer diren ondo ulertzeko, zatikien teoriak gaur egun hartu duten bideari buruzko zenbait hastapen ere beharko ditugu. Teoria hauen garapenerako eman diren azken pausoak bateratze-teorien arloa jo dute. Ideia nagusia hauxe dugu: lehen hiru indar ezberdin zirenak (elektromagnetikoa, elkarrekintza ahula eta elkarrekintza bortitza) indar edo elkarrekintza bakar batean bateratzen dira. Bateratze-mekanismoa simetriaren bidez lortutako erlazioa da. Hau da, Unibertsoa fase simetriko batean dagoeanean hiru indar hauek bakar batean bateratzen dira, eta simetria hori hautsi egiten denean, hiruen arteko ezberdintasunak agertzen dira. Hobeto ulertzeko, mekanikako adibide bat jarriko dugu konparaketa

gisa. Ontzi zilindrikoan likidio bat badugu, molekulen banaketa berdina irudituko zaigu ontzia biratu arren. Beraz, likido hau lege simetriko baten bidez deskribatua izango da. Baina likidoa kristaldu arte hoztu egiten badugu, atomoak ardatz kristalografikoen arabera ordenatzen dira eta simetria galtzen da. Antzeko zerbait dugu, bada, zatikien bateratze-teoriekin: simetriaren hausturaren eragileak tenperatura eta Higgs-en eremuak dira. Tenperatura  $10^{27}$  K baino haundiagoa den artean Higgs-en eremu bien balioak nuluak dira (horrek ez du existitzen ez direnik esan nahi; fluktuazio kuantikoen oreka-balioa zero dela baizik) eta egoera simetrikoan gaude. Tenperatura kritiko horretatik behera Higgs-en eremuetako bat gutxienez ez-nulua da eta indarrak bereiztu egiten dira.

Fase-aldaketa honela gertatzekotan ez genuke besterik esan beharko, baina bateratze-teorien kalkuluak parametro arbitrario askoren menpean daude eta beraien balio logiko batzuentzat egoera berezi bat lortzen da. Arrazoia balio horiek sortzen duten materiaren hozketa-abiadura eta faseen arteko trantsizio-abiaduren ezberdintasunean datza. Lehenengoa askoz ere haundiagoa izango litzateke eta ondorioz tenperatura  $10^{27}$  K mugatik behera asko jaitsiko litzateke Higgs-en eremuen balioak oraindik nuluak izanik, hau da, fase simetrikoak hautsi gabe. Fenomeno hau, azken batez, hain ezaguna den gainozketa-feno-



meno horietakoa dugu. Adibidez, ura  $-20^{\circ}\text{C}$ -raino hoztea lor daiteke solidotu gabe, hots, fase likidotik solidora trantsizioa gertatu gabe. Aipatu ditugun baldintza hauetan hutsak oso egoera berezia hartuko luke: huts faltsua deitu duguna. Hau benetako hutsa baino askoz ere energetikoagoa da. Horregatik, bere egoeratik benetakora eboluzionatzeko joera du. Horrekin batera fasea aldatu egiten da. Akats topologikoak prozesu honen bukaeran sortu ziren eta fasealdaketak iraun zuen artean Unibertsoak hedapen izugarria jasan zuen. Hasieran esan dugunez, fase-trantsizioa Unibertsoa sortu ondoreneko  $10^{-35}$  segundoan hasi zen, bere iraupena  $10^{-32}$  segundokoa izan zen eta denbora horretan Unibertsoaren diametroa  $10^{60}$  aldiz haundiagotu zen gutxi gorabehera.

Orain akatsak nola eratu ziren ikus dezagun. Esan beharrik ez dago espazioko eskualde ezberdinetan trantsizioa modu ezberdinetan gertatu zela: Higgs-en eremuen balioak zero egingo ez dituzten fluktuazio kauntikoen zoritasuna dela eta, Higgs-en eremuek hartzen dituzten balioak ezberdinak dira

eskualde ezberdinetan eta haien arabera simetria hautsiko fase ezberdinak ditugu. Izoztu behar den uraren analogia berrartuz, zera genuke: ura izozten denean kristalsare bat eratzen du, baina ur-kantitatea oso handia bada, ardatz kristalografikoen orientazioa ezberdina izango da eskualde ezberdinetan. Era berean, huts faltsutik benetakora iragatean eremu ezberdinen mugetan ere akatsak sortzen dira. Nolabait definitzeko, bada, akats topologikoak hutsaren era energetikoak gordetzen dituzten eremuak dira. Beraien dimentsioen arabera honako hauek izan daitezke: monopolo magnetikoak puntualak direnean, sokak dimentsio bakarrekoak badira eta hormak bi dimentsio dituztenean.

Masa galduaren arazoari dagokionean, lehenengo biak dira interesatzen zaizkigunak. Monopolo magnetikoak polo bakar bateko imanek edo karga magnetikoa duten izakiak dira. Ezagutzen ditugun karga elektrikoen alderantzizko jokaera izango lukete, geldinean eremu magnetikoak sortuz eta higitzen hastean eremu elektrokoak ere bai. Materia ilunarentzat izan

zezaketen erakarpenari dagokionez, bere masa protoiarenaren  $10^{16}$  aldiz haundiagoa dela jakin behar dugu; oso handia inola ere.

Sokak akats unidimentsionalak direla esan dugu. Bere diametroa  $10^{-30}$  cm-koa izango litzateke. Luzerari dagokionez, infinituak eta irekiak ala eraztun itxurakoak izan daitezke. Masari dagokionez beraien dentsitatea izugarria izango litzateke;  $10^{22}$  g/cm gutxi gorabehera. Bestalde, sokei garrantzi berezia ematen zaie, existituz gero Unibertsoaren hasierako aldiunetako masa-banaketan eragin handia izango luketelako. Puntu honen azterketak aspaldidanik eztabaidatzen den arazo bat argitzen lagunduko luke. Zeintzuk sortu ziren lehenengo? Galaxiak, gero kumulu eta superkumulutan elkartzeko, ala superkumulua, gero kumulu eta galaxiatan banatzeko?

Bukatzeko zera esango dugu: soka kosmikoak ez direla zatikien teoria supersimetrikoetan definitzen diren soka eta supersokekin nahastu behar. Hauek, zatikiak ulertzeko modu berria dira. ■