



Zulo beltzaren baporaketa

(Hawking efektua)

Jose Miguel Campillo*

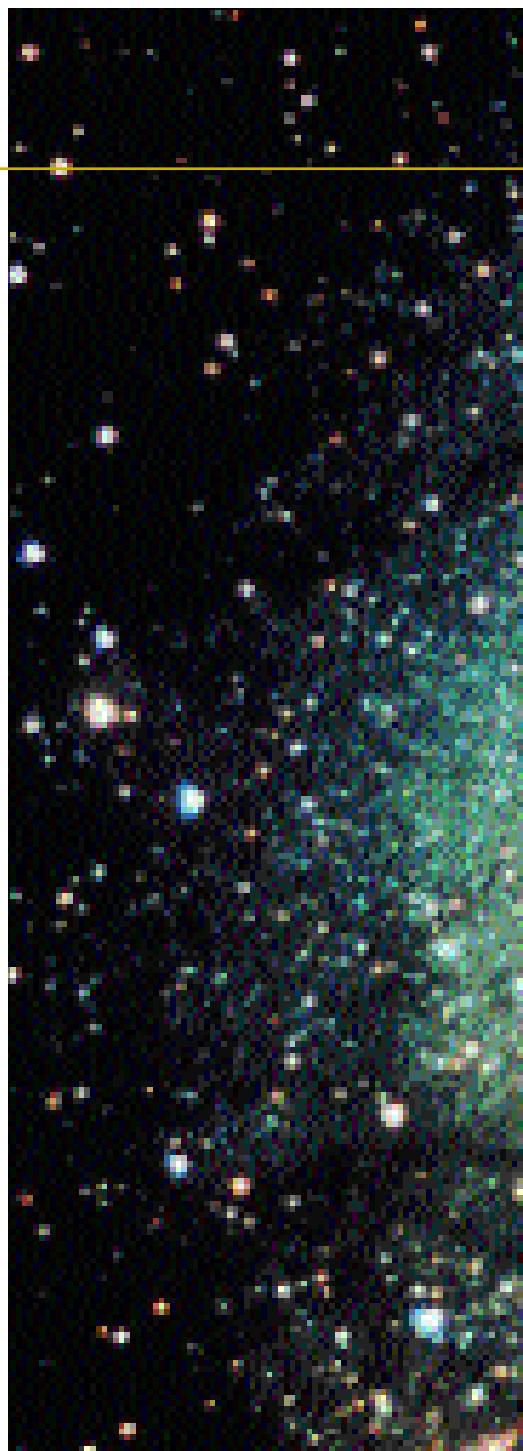
Zulo beltzaren kontzeptuari betidanik lotu izan zaizkion ezaugarriak iraunkortasuna eta ikustezintasuna izan dira. Azken ezaugarri horrek izenean bertan adierazten du nolakotasuna. Ideia horiek alabaina, zulo beltzen inguruan eman ohi den ikuspegi klasiko hutsari dagozkio. Mekanika Kuantikoaren aldetik aztertuta lor daitekeena aldiz, guztiz bestelakoa da.

Zulo beltzen ikuspuntu klasikoa ematea ez da oso zaila. Zulo beltza bere eremu grabitatorio bortitzaren bidez ondoan dituen gauza guzti-guztiak, baita azkarrenak ere (argia, esate baterako) irensten dituen gorputza da. Bere baitatik ez da deus irteten, ez erradiaziorik ezta beste ezer. Hau da, den-dena zurgatu egiten du eta ez du igortzen. Horrela, gelditu gabe energia eta materia irensten du eta etenik gabe handituz doa. Beraz, zulo beltza ezin da desagertu eta hortik sortzen da, hain justu, iraunkortasunaren ideia.

Ikustezintasunari dagokionez, eremu grabitatorio bortitzagatik, zulo beltzak ezin du erradiaziorik igorri eta hori dela medio, ikustezina da kanpotik. Aurrera egin baino lehen ordea, esandakoa zehaztea komeni da. Zulo beltzak erakartzen duen materia abiadura izugarriaz ari da higitzen. Erorketa-prozesu horretan gertatzen diren marruskadura eta inpaktuak oso bortitzak dira eta egoera horretan, atomoak ez dira bere egiturari eusteko gauza izaten; ondorioz, plasma bihurtzen dira. Plasmaren tenperatura oso altua da eta nagusiki, X izpiak igortzen ditu. Fenomeno

horren ondorioz, zulo beltzaren ingurua urrutitik beha daiteke, baina argi dago erradiazio hori ez dagokiola zulo beltzari, bere inguruko materiari baizik.

1974an zulo beltzaren ikuspuntu klasiko hori bertan behera gertatu zen, Stephen W. Hawking-ek eginiko aurkikuntza zela medio. Garai horretan, zulo beltz mikroskopikoen inguruan gertatzen diren fenomeno kuantikoak ikeretzen ari zen; berak proposatu zuen Unibertsoaren hasierako garaietan ustez sortu ziren gorputz horien existentzia. Ildo horretan egindako ikerketen emaitza ondorengoa izan zen:



zulo beltzak erradiazio termikoa igortzen du espontaneoki.

Zulo beltzen inguruko eremu grabitatorioa hain bortitza izanik, nola eman liteke igorpen hori? Galdera horri erantzuteko, Mekanika Kuantikoaren oinarrietako bat den printzipioaz baliatu behar dugu, hau da, Heisenberg-en ziurgabetasunaren printzipioaz. 1927-an postulatu zen lehen aldiz printzipio hori eta mundu mikroskopikoan aplikatzen da nagusiki. Bere formulazioetako batek ondokoa diosku: “Denbora-tarte nahikoa txikietarako, ziurgabetasun oso handia dago energian” eta matematikoki honela adierazten da:

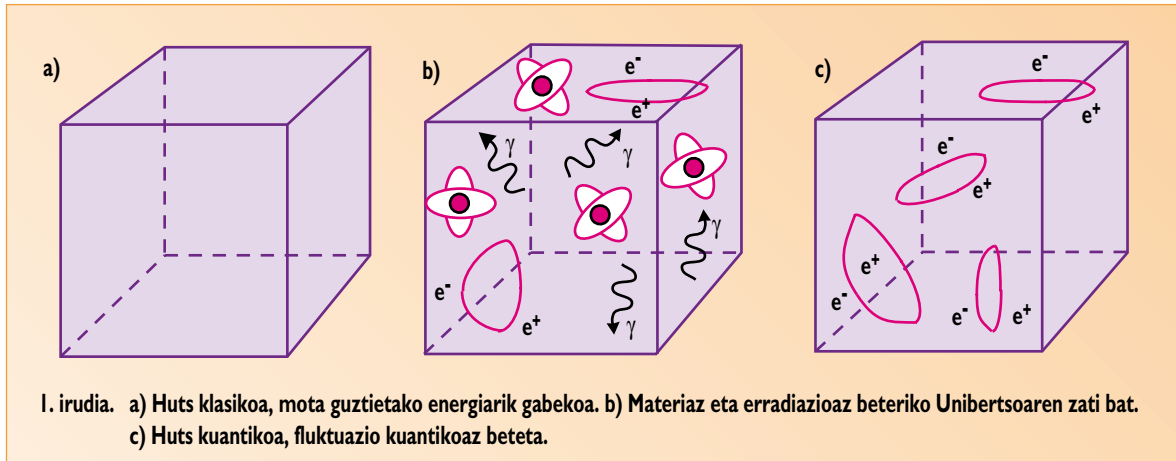
$$\Delta E \cdot \tau \geq \hbar$$

non $\hbar = h/2\pi$ (h , Planck-en konstantea), ΔE energiaren desbiderapena, eta τ denbora-tartea diren. Bestela esanda, edozein denbora-tartean ezin daiteke energia zehatzasun osoz ezagutu eta hori dela medio, mundu mikroskopikoan energiak ezin dezake balio zehatzik har, zero adibidez. Bestalde, Einstein-en Erlatibitate Bereziaren teoriari esker, energia eta materia txanpon bereko bi aldeak direla badakigu. Beraz, edozein energi fluktuazio materia bihur daiteke. Hau da, denbora-tarte oso txikian materia ezere-

zetik sor daitekeela ondoriozta dezakegu Mekanika Kuantikoaren printzipioetatik. Hori dela medio, Mekanika Kuantikoaren hutsa ez da eremu-, partikula-eta energia-ezaren egoera, Mekanika Klasikoan gertatzen den bezala, energia txikieneko egoera baizik. Hori dela eta, hutsa ez dagoela “hutsik” esan daiteke.

Huts kuantikoan, partikula-antipartikula bikoteak ari dira sortzen etengabe. Bikote horiei *hutsaren fluktuazio* deritze eta beraien batezbesteko bizitza oso laburra da. Adibidez, elektroiei eta positroi bikotearen sorrera eta deuseztapenaren arteko tarte 10^{-21} se-

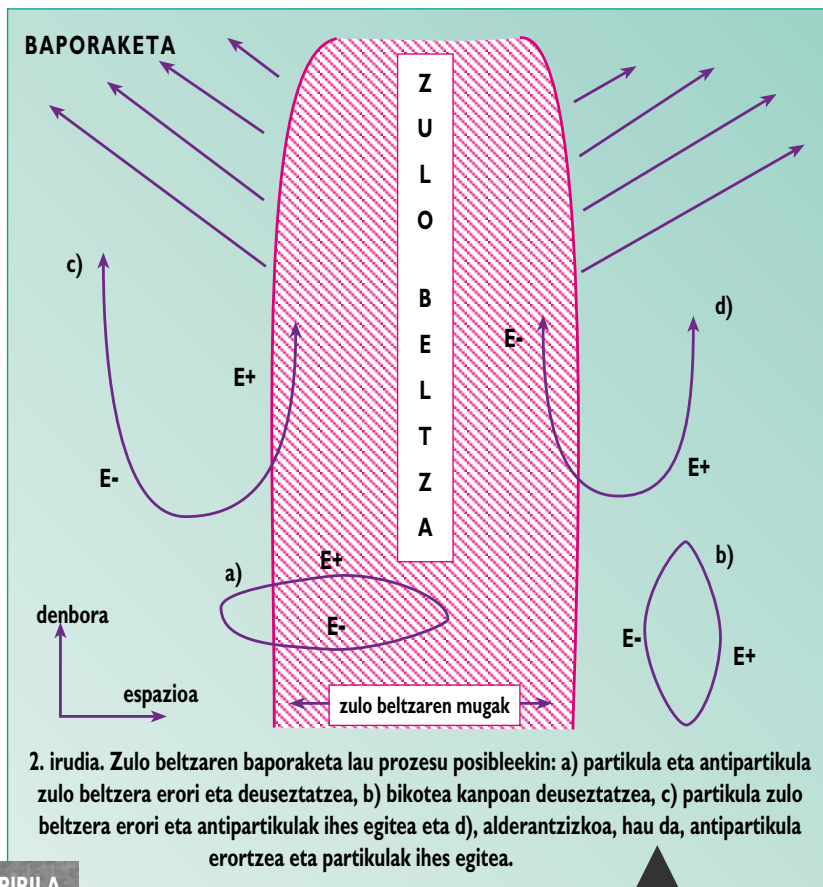
ASTRONOMIA



gundotakoa da eta protoi eta anti-protoi bikotearen bizitza hori baino bi mila aldiz txikiagoa. Zer-gatik dago era horretako alderik? Protoia elektroia baino pisutsua-goa da eta ondorioz, fluktuazioa-ren energiak handiagoa izan behar du protoia sortzeko eta beraz, partikula pisutsuen batezbesteko bizitza txikiagoa izango da. Denbora-tarte horiek oso txikiak direnez, fluktuazioak ezin dira zuzenean detektatu. Horregatik, fluktuazioen partikulei *virtual* deritze. Hala ere, partikula horien presentzia bere eraginez sortzen diren zenbait fenomeno-ren bidez froga daitezke; horren

adibidea da esate baterako, *Lamb lerrakuntza* izeneko efektua. Efektu honetan, hidrogeno atomoaren energi mailek lerrakuntza pairatzen dute bikote birtualen eraginagatik. Esandakoa esan eta gero, irakurle zuhurrak zera pentsa dezake: zein erlazio dago edozein zulo beltzaren erradioioaren eta fluktuazio kuantikoen artean? Hori argitzen saiatzeko, Hawking-ek egin zuen moduan, fluktuazioak zulo beltzaren beraren inguruan aztertu behar ditugu. Zulo beltzaren inguruan sortzen direnean, bikote birtualek indar grabitatorio bortitza pairatzen

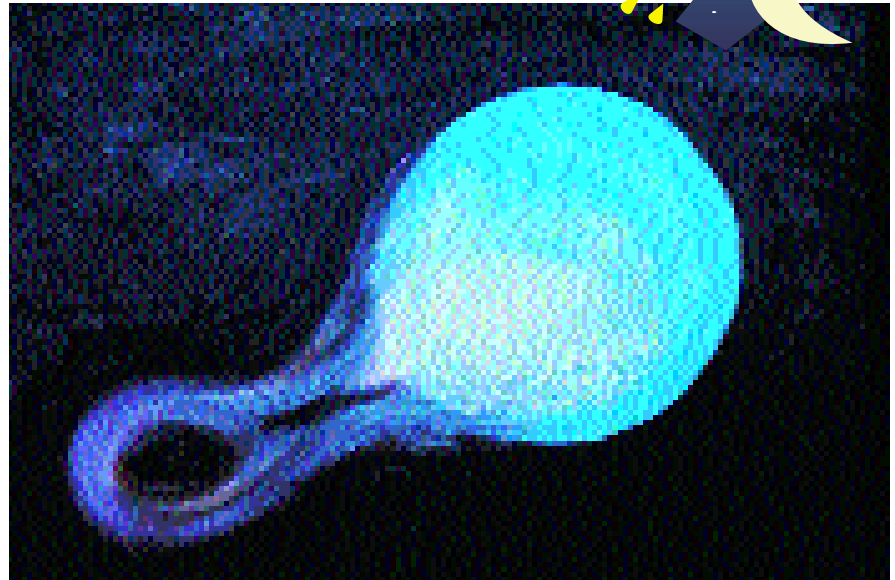
dute, baina prozesu hori ez da berdin gertatzen kasu guztietan. Indar grabitatorioa oso distantzia txikian asko aldatzen da zulo beltzaren inguruan eta ondorioz, bikote horren osagai bakoitzaren-ganako eragina desberdina da. Alde hori handiagotzen bada, bikotearen zatiak bana daitezke eta horrek bikote-egitura haustea ekarriko du. Hori gertatzen den kasuetan, partikula birtualak erreal bihurtzen dira eta ondorioz, neurgarriak. Hutsaren egoera horri *hutsaren polarizazio* deritzo. Partikula-antipartikula bikote-egitura zulo beltzaren ondoan sortzen denean, lau prozesu gerta daitezke (ikus 2. irudia): a) partikula eta antipartikula zulo beltzera erori eta deuseztatzea, b) bikotea kanpoan deuseztatzea, c) partikula zulo beltzera erori eta antipartikulak ihes egitea eta d) alderantzizkoa, hau da, antipartikula erortzea eta partikulak ihes egitea. Hawking-ek lau aukera horiek aztertu zituen eta bakoitzaren probabilitateak kalkulatu zituen. Bere frogen arabera, gertatzeko probabilitate gehien duen prozesua azkena da. Horrek zera adierazten digu, zulo beltzera erortzen den antipartikula-kopurua partikulena baino handiagoa dela. Gatozen bada, horren ondorioak aztertzeraz. Batetik, antipartikulek energia negatiboa dutenez, zulo beltzaren energia gutxiagotuz doa eta horrekin batera, bere masa. Fenomeno hori kanpotik behatuz gero, ihes egiten duten partikula horiek zulo beltzak berak kanpo-





ratzen dituela pentsa dezakegu. Kanpotik aztertuta bada, zulo beltza "baporatu" egiten dela eta partikulak igortzen dituela ikusiko dugu.

Hortxe dugu beraz, Hawking-en aurkikuntza: zulo beltzen baporaketa. Baina areago joan zen Hawking eta gorputz horri tenperatura bat dagokiola postulatu zuen. Tenperaturak igorpenaren modua zuzentzen du, hots, igorpen-espektrua termikoa da, eta tenperatura bera duen "objektu ilunak" igortzen duen bezalakoa da. Horrez gain, zulo beltzaren tenperatura eta masaren arteko erlazioa alderantziz proportzionala da (ikus I. grafikoa). Horrela, masa zenbat eta txikiagoa izan, hainbat eta tenperatura handiagoa izango du gorputz horrek eta masa handia bada, tenperatura txikia izanen da. Adibidez, mila milioi tonako zulo beltz mikroskopiko batek 10^{12} K-eko tenperatura izango du. Tenperatura handiagotzean, igorpena handiagoa izango dela kontutan hartuz, masa txikiko zulo beltzak masa handikoak baino askoz gehiago erradiatuko du eta ondorioz, askoz azkarrago galduko du bere masa. Masa galtzean, tenperatura handiagotu egiten da eta horrekin, erradiatutakoa gehiago izango da. Horren guztia-



Zulo beltzaren simulazioa.

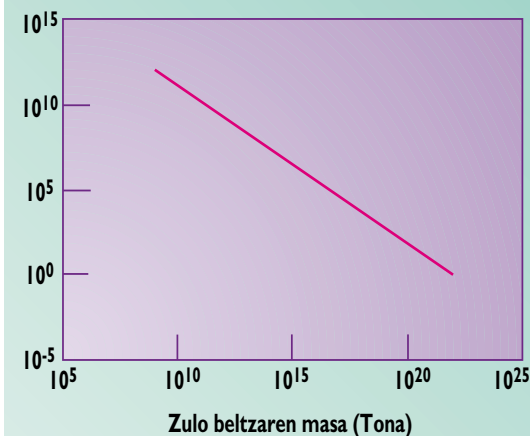
ren ondorioa da erradiazioaren azelerazioa. Eta azkenik, zer gertatuko da igorpenagatik zulo beltzaren masa oso txikia denean? Horri erantzuteko, Grabitazioaren Teoria Kuantikoa beharko genuke eta horrelakorik ez dugunez, ez da batere erraza erantzutea. Teoria batzuen arabera, zulo beltza erradiazio-leherketa handi baten bidez desagertuko da eta antza denez, leherketa horrek milioika H-bonben potentzia izango luke. Bestalde, masa handiagoko zulo beltzen tenperatura arbuigarria da. Eguzki-masa bateko zulo beltzak 10^{-7} K-eko tenperatura izango du eta hori Unibertsoa osatzen duen hondo-erradiazioarena (2.7 K-ekoa, hain zuzen) baino askoz txikiagoa da; ondorioz, zulo beltzak erradiaturikoa zurgatutakoa baino txikiagoa izango da. Beraz, bere inguruko tenperatura zulo beltzarena baino txikiagoa izan arte, zulo beltza masa eta energia irabaziz joango da, efektu kuantikoa arbuigarria izanik. Baporaketa beraz, efektu kuantikoa da eta ondorioz, zulo beltz mikroskopikoen kasuan da garrantzitsua. Baina zulo beltz guztietan ematen da, bai biratzen direnetan eta baita karga elektrikoa dutenetan ere. Are garrantzitsuagoa izan daiteke zulo beltzen ikerketa, zenbait ikerlarik uste duen legez, Grabitazioaren Teoria Kuantikoa lortzeko balio lezakeela kontutan hartzen badugu.

Efektu honen azalpenean, Fisikako hiru arlo nagusik bat egiten dute: Grabitazioak, Termodinamikak eta Mekanika Kuantikoak. Fisikaren batura sakona dela adierazten digu horrek, sarritan horrela gertatzen ez bada ere. Zientzilarien espezializazio-maila gero eta altuagoa denez gero, printzipio horiek ia ahazturik ditugu gaur egun. Berreskuratu-ko al ditugu inoiz?



* Fisikaria. UEUko Fisika Saileko kidea

Zulo beltzaren tenperatura (Kelvin)



I. grafikoa. Zulo beltzaren tenperaturaren masarekiko menpekotasuna.

Gehiago irakurtzeko

- 1.- J. D. Bekenstein, "Black-hole thermodynamics", Physics Today, 1980eko urtarrila.
- 2.- S. W. Hawking, "Historia del tiempo", Ed. Crítica, Bartzelona, 1989.
- 3.- J. P. Luminet, "Agujeros negros", Alianza Editorial, Madril, 1991.
- 4.- R. Penrose, "La nueva mente del emperador", Biblioteca Mondadori, Madril, 1991.
- 5.- K. S. Thorne, "Agujeros negros y tiempo curvo", Crítica-Grijalbo Mondadori, Bartzelona, 1995.