



Leiho berriak unibertsora

Egoitz Etxebeste Aduriz · Elhuyar Zientzia

Unibertsora begiratzeko leiho erabat berriak irekitzen ari dira; grabitazio-uhinak direla, neutrinoak direla... Eta betiko leihoak ere, argia, irrati uhinak eta abar jasotzen dituzten horiek, nabarmen hobetzen ari dira. Leiho horietatik guztietatik, gero eta gauza gehiago ikus ditzakegu, gero eta urrunago ikus dezakegu.



Atacamako basamortuan (Txile), 5.000 metroko altueran, dago unibertsoa begiratzeko leiho onenetako bat: ALMA, 66 antenaz osatutako irrati-teleskopioa. ARG.: Y. Beletsky (LCO)/ESO.

“Jaun-andreok, grabitazio-uhinak detektatu ditugu. Egin dugu!” esanez hasi zuen David Reitze LIGOk zuzendari exekutiboak aurkikuntzaren berri emateko prentsurrekoa, 2016ko otsailean. “Hilabeteak behar izan ditugu benetan grabitazio-uhinak zirela jakiteko, baina zirrargarriena hemendik aurrerakoa da. Leiho bat irekitzen ari gara unibertsoa”.

Azken urteotan ireki den leiho garrantzitsuenaz ari zen. “Kontzeptualki leiho guztiz berria da —dio Miguel Querejeta Pérez ESOko astrofisikariak—; besteak beste, egiaztatu zuelako espektrorik elektromagnetikotik kanpo astronomia ikertzea posible dela”.

[Lehenengoz grabitazio-uhinak detektatzea](#) lortu zuten LIGO behatokian (Estatu Batuak). Einsteinek ehun urte lehenago iragarri zituen uhin haiek zuzenean neurtu ziren, lehenengoz. Einsteinen teoria baieztatzea ez zen gutxi, baina aurkikuntza hura askoz gehiago ere izan zen. “Teknologikoki lorpen izugarria izan da —azpimarratzen du Jon Urrestilla Urizabal EHUko kosmologoak—; neurtzen dutena [grabitazio-uhinek interferometroaren besoetan eragindako deformazioa] protoi bat baino 10.000 aldiz txikiagoa da. Eta hain gauza txikia neurtzean, ari gara neurtzen oso urrun dauden bi zulo beltzek egiten duten dantza, elkarrekin fusionatzean”.

VIRGO interferometroa (Italia)
 2017ko abuztuan jarri zuten
 martxan. Nabarmen hobetu zuen
 horrek LIGO behatokiko (Estatu
 Batuak) beste bi interferometroek
 irekitako leihoa. ARG.: The Virgo
 collaboration/CCO 1.0.

Horixe izan zen leih hartatik ikusi zen lehen ikuski-zuna: bi zulo beltzen arteko talka. "Pentsatzen zen lehenengo ikusiko zirenak neutroi-izarrak izango zirela. Uste genuen neutroi-izar askoz gehiago zeudela, zulo beltzak baino, eta lehenengo lau detekzioak zulo beltzenak izan ziren", azaltzen du Urrestillak. "Gainera, neurtu ziren zulo beltz horien masak ez ziren tipikoak. Beraz, orain pentsatu behar dugu zergatik dauden uste genuena baino zulo beltz gehiago, eta nola sortzen ote diren horrelako zulo beltzak".

Hainbat leihotatik begira

2017ko abuztuaren 17an iritsi zen neutroi-izarren txanda. Grabitazio-uhinak detektatzen ziren bosgarren aldia zen, eta LIGOn eta martxan jarri berria zen VIRGOn (Italia) detektatu ziren. Gainera, beste hainbat leihotatik ere behatu ahal izan zitzaion neutroi-izarren talka hari. Grabitazio-uhinak iritsi eta 1,7 segundora, gamma-izpiak iritsi ziren, eta, ondoren, X izpiak, ultramoreak, optikoak, infragorriak eta irrati-uhinak. "Hori sekulakoa izan zen —nabarmentzen du Urrestillak—; lehenengo aldiz ikusi genituen prozesu beretik datozen grabitazio-uhinak eta uhin elektromagnetikoak guregana heltzen".

Einsteini berriz ere arrazoia eman zion, gainera, behaketa horrek. Izan ere, badira Einsteinen teoria aldatzea proposatzen duten teoria batzuk, $f(R)$ teoriak, energia eta materia iluna azaltzen saiatzeko, besteak beste. Teoria horietako askok iragartzen dute grabitazio-uhinen eta argiaren abiadura ezberdinak direla. Einsteinen arabera, berriz, berdina dira. Bada, behaketa hark frogatu zuen Einsteinek arrazoi zuela. "Beraz, $f(R)$ teoria horiek ez dute balio;





“Grabitazio-uhinen leihotik egindako lehen begiradek emaitza garrantzitsuak eman dituzte, baina ia dena aurkitzeko dago”

argi gelditu da materia eta energia iluna ulertzeko bidea ez dela hori”, azaltzen du Urrestillak.

Bestalde, “neutroi-izarren talka batean gertatzen dena ulertzeko, Einsteinen teoriez gain, energia altuko fisika ere behar da”, gehitu du kosmologoak. Eta, kasu honetan ere, aurreikusitakoa bete da: “Simulazioek esaten zuten dentsitate handiko bi izarren artean talka bat gertatzean, denbora jakin bat beharko zela gamma izpiak ateratzeko, eta hain justu, aurreikusitako denbora-tarte horren aldeare-

kin iritsi ziren grabitazio-uhinak eta gamma izpiak. Grabitazio-uhinek arrazoia eman diete Einsteini eta energia altuko fisikari”.

Querejeta ere guztiz bat dator behaketa horren garrantziarekin, eta eman dituen bi emaitza garrantzitsu azpimarratzen ditu: “Batetik, gamma izpien ez-tandak misterio bat ziren, ez genekien zein fenomeno fisikok sortzen zituzten gamma izpien ez-tanda motzak, bereziki. Eta honek baieztatu egin du bi neutroi izarren talkak sortzen dituela. Bestetik,

James Webb espazio-teleskopioa prest dago, jaurtiketa-dataren zain. Behin eta berriz ari da atzeratzen, baina, behin bere lekuan jarritakoan, unibertso gaztea ikusi ahal izango da handik. ARG.: NASA/Desiree Stover.



Miguel Querejeta Pérez
ESO Europako Hego Hemisferioko
Behatokiko astrofisikaria



Jon Urrestilla Urizabal
EHUko kosmologoa



hainbat elementu astunen sintesi-prozesua (R prozesua) supernobatan gertatzen zela uste genuen, baina honek erakutsi duenez, badirudi gehiena neutroi-izarren talkatan gertatzen dela”.

Grabitazio-uhinen leihotik egindako lehen begiradek emaitza garrantzitsuak eman dituzte bai, baina ia dena aurkitzeko egon daiteke oraindik. Leiho horretatik nola begiratu ere ikasi egin beharko da. “Ez dakigu zer aurki dezakegun —dio Querejetak—; espero dezakegu esperogarria ez dena ere”. Halaxe uste du Urrestillak ere: “seguru, imajinatzen ez ditugun gauza berriak ikusiko ditugula”.

Lehen leihoak hobetzen

Grabitazio-uhinena ez da gauza berriak erakutsiko dizkigun leiho bakarra. Esaterako, Querejetaren leiho kuttuna ALMA da: “Astronomian hasi nintzenetik, irrati-uhinekin egin dut lan, eta alde horretatik ALMA leiho paregabea da. Oraintxe ari naiz ALMAk hartutako datuekin lanean, eta benetan datu bikainak dira”.

Atacamako basamortuan (Txile) dago ALMA, 5.000 metroko altueran; 66 antenaz osatutako irrati-teleskopio bat da. 2011n hasi zen antena gutxi batzuekin, baina duela urte pare bat jarri zuten antena-sorta guztia martxan. ALMA baino lehen, uhin-luzera horietan lan egiten zuen teleskopio handiena NOEMA zen (Plateau de Bure, Frantzia), 7 antenarekin. “Alde handia dago —dio Querejetak—; askoz doitasun handiagoa du, eta askoz urrunago dauden objektuak azter ditzakegu”.

Gasa eta hautsa detektatzen ditu ALMAk. Alde bate-tik, oso urrun dauden galaxiak eta quasarrak detek-

tatu ditzake, eta, bestetik zehaztasun handiz azter daitezke disko protoplanetarioak, edo izarrak jaiotzen diren nebulosak. “Izarren jaiotza-prozesua nola gertatzen den astrofisikan erantzun gabe dagoen galdera garrantzitsuenetako bat da”, gogorarazten du Querejetak. “Emaitza garrantzitsuak espero ditugu hortik. Dagoeneko eman ditu batzuk: adibidez, zuzenean detektatu du izar baten inguruko akrezio-diskoa eta han sortzen ari diren planetak”.

Irrati-uhinen alorrean bada beste leiho oso ikusgarri bat. Txinako hego-ekialdean 2016ko udan bukatu zuten FAST irrati-teleskopioa, munduko antena paraboliko handiena. 500 m-ko diametroa du, eta 140 m-ko altuera. Interferentziak saihesteko, inguruan bizi ziren 9.000 herritarrek alde egin behar izan zuten. Kasu honetan, ordea, litekeena da leihoa bera izatea ikusgarriagoa, handik ikusiko dena baino. Halaxe uste du Querejetak: “FAST superlatiboa da, Arciboko munstroa baino handiagoa baita [300 m ditu Arcibokoak]. Lagungarria izan daiteke, baina zaila iruditzen zait hortik iraultza handirik etortzea. Azken finean, VLA interferometroak, adibidez, doitasun handiagoa lortzen du uhin-luzera beretan”.

Askoz leiho txiki eta xumeago batetik emaitza ikusgarria lortu zuten, berriz, joan den otsailan, EDGES proiektuan. Australiako basamortuan jarritako kafe-mahai baten tamainako irrati-teleskopio batekin, [lehen izarren seinalea jasotzea](#) lortu zuten. Big Bangetik 180 milioi urtera hidrogeno-atomoek utzitako seinalea zen, eta erakutsi zuen garai hartarako sortzen hasiak zirela lehen izarrak, baita unibertsoa uste baino askoz hotzagoa zela ere. “Oso ideia burutsua da, eta emaitza benetan polita lortu dute”, dio Querejetak.

Irekiko direnak

Dagoeneko eraikia dagoen baina bere lekuan jarzea falta den beste leiho bat ere azpimarratzen du Querejetak: "James Webb espazio-teleskopioa (JWST) NASAren azken altxorra da". Aurten mar txan egotekoa bazen ere, jaurtiketa atzeratu egin da, baina dena prest dago. "Jaurtitzen duten momentutik, behaketa interesgarriak egiten hasiko da, seguru". Infragorrian lan egiten du, sekulako detekzio-gaitasunarekin. Alde batetik, izarren eta planeten jaiotza aztertzea du helburu, nebulosak eta disko protoplanetarioak hautsez beteta daudelako, eta hautsak berotzean uhin infragorrietan igortzen duelako energia gehiena. Bestalde, oso urrun dauden galaxiek igorritako argi ikusgaia eta ultramorea infragorrian iristen zaizkigu (Doppler efektuagatik), eta, hala, unibertso gaztea ikusi ahal izango da. "Unibertsoak mila milioi urte inguru zituenean sortutako galaxiak ikusi ahal izango dira", azaltzen du Querejetak.

Eta eraikitze-prozesuan dauden leihoen artean badira beste bi aipagarriak, Querejetaren ustez: "Alde batetik, SKA interferometroa, gas atomikoa ikusteko gai izango dena; eta bestetik, ELT, uhin ikusgaian lan egingo duena, gaur egungo gisa horretako teleskopio handiena baino lau aldiz handiagoa".

Urrestillak oraindik eraikitzeko asko falta den beste leiho batekin amesten du, LISArekin. ESAren eta NASAren proiektu bat da LISA interferometroa, eta LIGOk eta VIRGOk bezala, grabitazio-uhinak detektatuko litzuke, baina beste frekuentzia batean. Izan ere, uhin elektromagnetikoetan ultramorea, ikusgaia, infragorria eta abar ditugun moduan, grabitazio-uhinak ere maiztasun askotakoak daude. Orain ditugun interferometroek grabitazio-uhin batzuk bakarrik detekta ditzakete, beren hiruzpalau kilometroko besoekin.

LISA espazioan jarriko liratekeen disko-itxurako hiru espazio-ontzik osatuko lukete. Hiru diskoak, trian-

gelu aldeberdin bat osatuz, elkarrengandik 2,5 milioi kilometrora egongo lirateke; elkarri laser-izpiak bidalita distantzia hori zehaztasun handiz neurtuko lukete, eta, hala, grabitazio-uhinek eragindako aldaketa detektatu. Sekulako erronka teknologikoa da. "Zaila da, baina esperimentua aurrera doa —azaltzen du Urrestillak—; dagoeneko ESAk orbitan jarria du disko horien antzeko bat, *LISA Pathfinder*, teknologia probatzeko. Eta hemendik 20-30 urtera espero da LISA orbitan egotea".

Gero eta urrunago begira

LISAk inflazioan sortutako grabitazio-uhinak detektatuko litzuke. "Sekulako leihoa litzateke kosmologiarako, ikusiko genukeelako hasiera-hasierako unibertsoa nolakoa zen", azpimarratzen du Urrestillak.

Grabitazio-uhinen leihotik bakarrik ikus daiteke hain urrutira. Izan ere, unibertsoa hasieran elektroik eta fotoi guztiak aske zeuden, etengabe elkarren kontra talka eginez. Egoera horretan, fotoiek oso bide motza egin zezaketen, eta, ondorioz, ezinezkoa da garai hartako fotoiak (uhin elektromagnetikoak) gugana iristea. Unibertsoak 300.000 urte inguru zituenean, ordea, elektroiak atomoetan harrapatuta gelditu ziren, eta, orduan, fotoiak zuzen ateratu ziren. Garai hartako fotoiak hondoko mikrouhin-erradiazio gisa detektatzen ditugu. Hori baino lehenagoko fotoiak ezin ditugu ikusi, baina grabitazio-uhinak bai.

Eta tartean daude neutrinoak. Fotoien gisara, hasieran neutrinoek ere ezin zuten ihes egin, baina une bat iristen da neutrinoak ihes egiten hasten direna, eta hori gertatzen da fotoiekin baino askoz lehenago. "Neutrinoen leihoa ere oso interesgarria da —dio Urrestillak—; hondoko mikrouhin-erradiazioa dugun modu berean, neutrinoen hondo bat ere egongo litzateke, baina asko lehenagokoa".

“LISA sekulako leihoa litzateke kosmologiarako, ikusiko genukeelako hasiera-hasierako unibertsoa nolako zen”

J. Urrestilla

Arazoa da neutrinoak detektatzea oso zaila dela, ez dutelako materiarekin ia elkarrekintzarik. “Hori da neutrinoen abantaila eta desabantaila”, zehazten du Urrestillak. Abantaila, iturritik zuzen-zuzen atera eta milioika argi-urtetan bidaiatu dezaketelako, desbideratu gabe; desabantaila, gure tresnekin ere ez dutelako elkarrekintzarik, eta, ondorioz, detektatzeko oso zailak direlako.

Hala ere, nahiz eta oso gutxitan izan, batzuetan neutrinoek atomoren batekin talka egiten dute. Eta horretaz baliatzen dira neutrino-behategiak; esa-

terako, IceCube behategia, Hego poloan. Izotzean sartuta dagoen sare bat da IceCube, 5.000 argi-sentsorez osatua eta kilometro karratu bateko azalera duena. Neutrino batek izotzeko atomo batekin talka egitean igortzen den argia detektatzen dute sentsore horiek. Oso neutrino gutxi detektatzen ditu, baina, joan den uztailean, behaketa garrantzitsu batzuen berri eman zuten: IceCubera iritsitako [energia handiko neutrino batzuk 3.700 milioi argi-urtera dagoen galaxia batetik](#) zetozela jakitea lortu zuten. Badirudi, beraz, neutrinoekin beste leiho berri bat irekitzen hasia dela. ●

IceCube behatokiak neutrinoen leihoa ireki du, Hego poloan. Izotz azpian sartutako 5.000 sentsoreek kilometro karratu bateko sarea osatzen dute. Hori eta gehiago behar da neutrino iheskorak harrapatzeko.
ARG.: Sven Lidstrom, IceCube/NSF.

