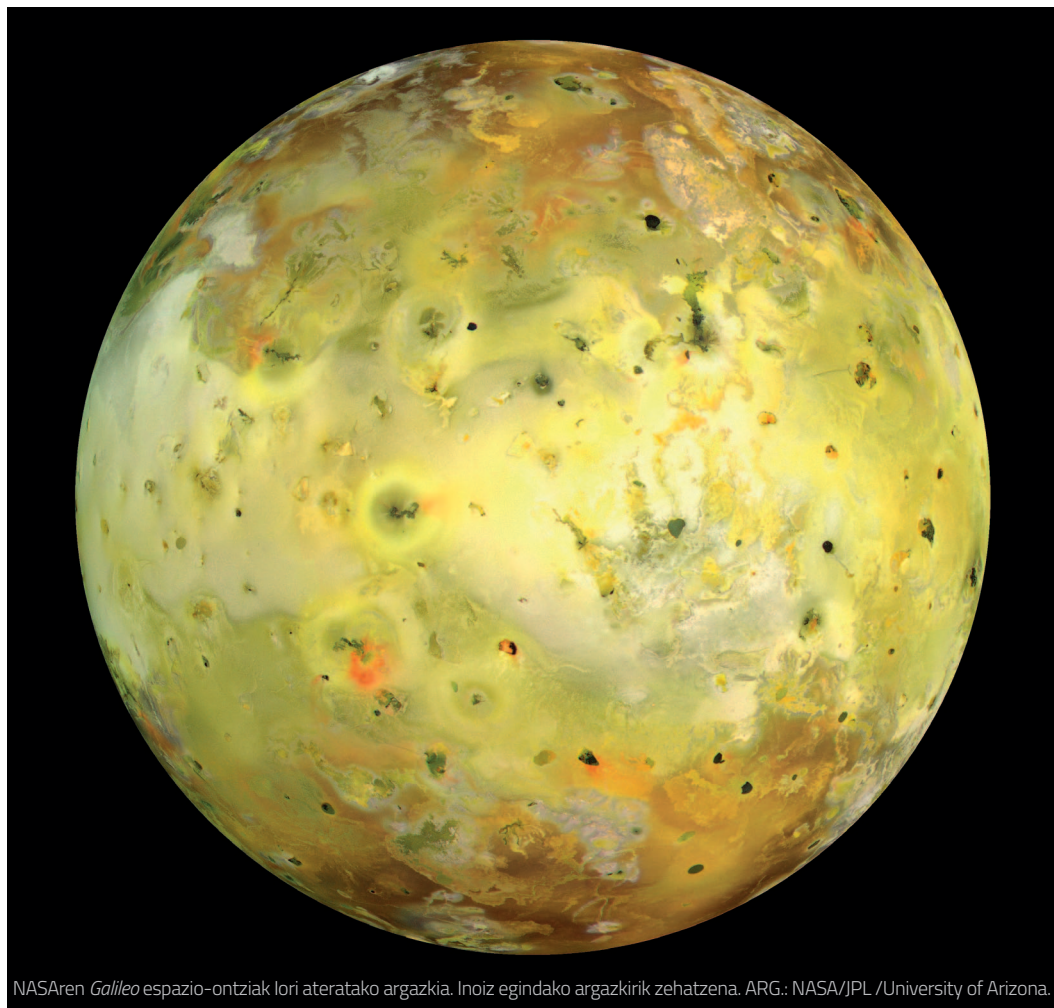


# Io eta argiaren abiadura

*The Expanse* zientzia-fikziozko telesailean, Marteren eta Lurraren indarrek talka egiten dutenean Jupiterren io satelitearen gainean, minutu batzuk behar dituzte Lurrean, gertatzen ari dena jarraitu eta aginduak emateko. Argiak joan-etorria egiteko behar duen denbora dela eta, zaila da guda bera gidatzea. Bitxia bada ere, io eta argiaren abiadura zuzenki loturik daude zientziaren historian.



NASAREN *Galileo* espazio-ontziak lori ateratako argazkia. Inoiz egindako argazkirik zehatzena. ARG.: NASA/JPL /University of Arizona.

Galder Gonzalez Larrañaga  
Wikilaria



### **Celatonea buruan, eta ibili munduan**

1956an Arnold Nawrockik gazta prozesatuak plastiko indibidualetan sartu zituenetik [1], errazagoa da argiaren abiadura neurtzea etxean, mikrouhin-labea eta erregela bat erabilia [2]. Galileoren garaian, ordea, kontzeptu ezezaguna zen argiaren abiadurarena.

1617ko iraila. Galileo Galilei, historiako astronomorik famatuenetako bat, aulki batean loturik daukate, Livornoko portuan dagoen itsasontzi baten gainaldean dagoen igerileku batean kokatutako barku txiki baten barnean. Buruan, berak asmatutako aparatu bitxi bat darama, *celatone* izenekoa [3].

*Steampunk*-komiki batetik ateratako aparatu horietako bat dirudi *celatoneak*: betaurrekoak dituen kasko bat da, eta begietako batean teleskopio bat jartzen da. Gerora egindako bertsio batzuetan, kandela bat du gainean, gauean irakurri edo idatzi ahal izateko. Haren funtzioa ere oso zehatza da: teleskopiorik ez duen begiarekin Jupiter aurkitu eta gero, teleskopioa duen begitik planeta ikusi ahal izango dugu, eta, hala, zehaztasun handiz ikus daiteke noiz gertatzen den Jupiterren sateliteetako baten eklipsea. Behatzailearen mugimenduak eta, bereziki, itsasontziaren mugimenduak Jupiter ikusteko arazoak emango dituztenez, flotatzen duen aulki baten gainean jarri beharko da behatzailea [4,5].

Zazpi urte lehenago, 1610eko urtarrilaren 7an, Jupiter ikusi zuen Galileok, berak egindako teleskopio batekin, Pisatik, lehen aldiz. Jupiter ondoan hiru izar aurkitu zituen (laugarrena hurrengo gauean ikusi zuen), lerro zuzen bitxi batean. Hurrengo gauean, berriro behatu zuen Jupiter, eta hiru izar haiek mugitu egin zirela ikusi zuen, baina Lurraren

mugimenduaren ondorioz pentsa litekeen norabidearen kontra. Gau hartan bertan, Pisatik urrun, Simon Mariusek ere Jupiter behatu zuen, eta haren ondoan zeuden lau puntuen kokapena aipatu zuen. Hurrengo egunetan, bi zientzialariek, bakoitzak bere aldetik [6], izar horien mugimendua deskribatu zuten, eta ondo ulertu zuten Jupiterren sate-



*Celatonearen* funtzionamendua. ARG.: Galileo Museoa/  
CC-BY-SA 3.0.

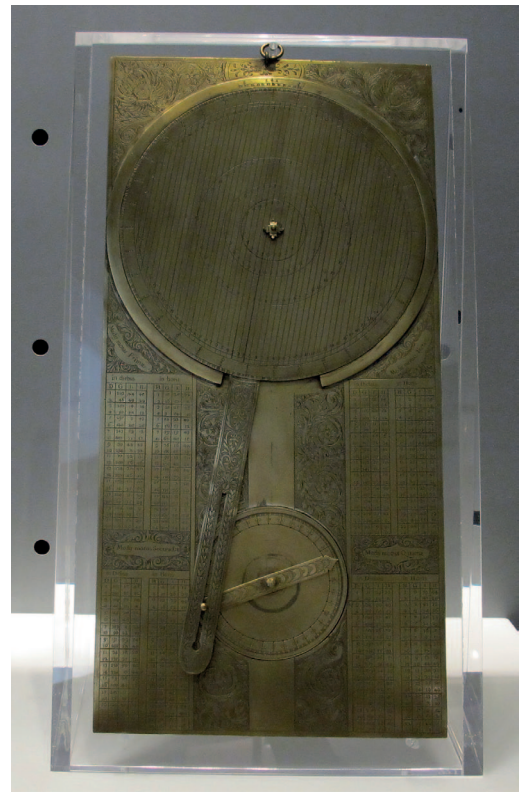
liteak zirela. Ondorio garrantzitsuak zituen horrek: baldin eta Jupiterrek bere inguruan biratzen zuen sistema oso bat bazuen, frogatutzat jo zitekeen Kopernikoren teoria heliozentrikoa [7]. Sateliteen aurkikuntza Galileori egozten diogu, Galileo izan baitzen argitaratzen lehena; baina, egiari zor, Mariusek proposaturiko izenak erabiltzen ditugu: Io, Europa, Ganimedes eta Kalisto [8].

1612tik aurrera, Galileok berak asmatutako sareta-sistema batekin, sateliteen posizioa zehaztasunez neurtzen hasi zen. Berehala ikusi zuen sateliteen abiadura Jupiterrekiko distantziarekiko proportzionala zela, eta taulak eginez posible zela satelite horien posizioa zehatz-mehatz zein den jakitea. Hain zehatz, ezen posible baitzen satelite bakoitzaren eklipseak aurrez iragartzea eta, horrekin, denbora neurtzea. Jupiterren sateliteak, eta bereziki Io, gero ikusiko dugun bezala, erloju astronomikoak ziren; eta, erloju bat badugu, longitudearen arazoa konpon dezakegu.

### Longitudearen arazoa

Demagun itsasontzi batean ari zarela Ozeano Atlantikoa zeharkatzen, demagun XVI. mendea dela eta zure posizioa zein den jakin nahi duzula, batez ere kosta ez jotzeko. Zure posizioa zein den jakiteko bi zenbaki beharko dituzu: latitudea eta longitudea. Latitudea nahiko erraz kalkulatu daiteke: Eguzkia eguerdian horizontearekiko zenbat altxatzen den neurtu, eta, urteko egunaren arabera, non zauden kalkulatu dezakezu. Gaur, are errazago: izarren posizioarekin eta altuera erlatiboarekin kalkulatu bera egin dezakezu, eguerdira arte itxoin behar izan gabe.

Baina... nola kalkulatu longitudea? Ezin da. Ohiko modua honako hau da: besaldi bateko tarteetan korapiloak dituen soka bat barkutik uretara bota, eta hogeita hamar segundoan zenbat korapilo erortzen diren kontatzea. Neurri horri, oraindik ere, korapilo izena ematen zaio. Ondoren, mapa batean, konpas bat erabilita, korapilo-kopuru horiek barkuak duen norabidean markatu, eta aurreko posizioarekiko zenbat mugitu garen jakin daiteke. Ez dago esan



*Jubilabiuma*, Galileo Museoa. ARG.: Sailko/CC-BY-SA 3.0.

beharririk: ez da metodo oso zehatza, eta, diruaz gain, biziak ere galdu ziren zehaztasunik ez horren ondorioz [9].

Arazo horri "longitudearen arazoa" deitu zitzaion, eta garai bakoitzeko potentzia nautikoak dirutza eskaini izan du soluzio bat aurkitzen zuenarentzat. Galileok Io erloju finko gisa erabiltzea pentsatu zuenean, Espainia zen itsas potentzia eta Filipe III.a sari-emailea. Baina Filipe III.ak saria eskaini eta

hogei urtera jaso zuen Galileoren proposamena, eta, dirudienez, haren idazkariek erantzun zuten esanez ez zela metodo praktikoa. Izan ere, ez zen batere erabilgarria.

Galileoren proposamenak, gutxienez, hiru gauza eskatzen zituen: loren eklipseak behatu ahal izateko *celatonea* zuen marinel bat; eklipseak zehazten zituen efemerideen taula bat edo, are hobeto, *jovilabium* bat (*jovilabiuma* sateliteen posizioak zehazten zituen kalkulagailu bat zen, hainbat pieza mugikorrekina egina [10] —ikusirik irudia—); eta, azkenik, pendulu-erloju bat. Logika honako hau zen: demagun Pisan egindako *jovilabium* horrek esaten digula loren eklipseak noiz hautematen diren Pisan, zehaztasun osoz. Barkuan, eklipsea noiz den neurtzen badugu, ordu-diferentziaren arabera aldea izango dugu gure latitudean. Adibidez, 2 ordu beranduago gertatzen bada, kontuan izanda egunak 24 ordu eta munduak  $360^\circ$  dituela, kalkulatu dugu Pisatik  $30^\circ$  -ra gaudela (izan ere,  $2/24 \times 360^\circ = 30^\circ$  da).

Handik denbora batera, saiatu zen metodo bera Herbehereei saltzen, hobekuntza tekniko batzuekin: *celatonea* zeramanak olio bereizitako bi esfera diren artean flotatu beharko luke, eserleku zehar batean [11]. Ez zuen lortu, arrazoi praktikoak zirela eta: Jupiter ezin da egunez ikusi, urteko gauen erdian ez dago hautematerik, eta hauteman daitekeenean ere hodeituta egon daiteke, barkuak mugitzen dira, marinelak ez zuten ezagutzen tekniko hain zehatza eta, garrantzitsuena akaso, penduludun ordulari batek ez du funtzionatzen mugimenduan dagoen barku batean.

### **loren dantza zehaztasunik gabea**

Baina Galileoren metodoak izan zuen balioa, handia, lehorrean. Itsasontzi batean ez bezala, lehorrean oso baliagarria zen metodo hori, longitudea zehazteko. Munduko mapak berriro marraztu ziren, inoiz egindako neurrik zehatzenekin: itsasoak handitu ziren, eta herrialde gehienak txikitu. Cassiniren gidaritzapean, Frantziak zehaztasun handiko neurketak egin zituen, eta ohartu ziren haren eremua mapek artean ziotena baino txikiagoa zela. Diotenez, Luis XIV.ak adierazi zuen lurralde gehiago galdu zuela astronomoen erruz bere etsaien erruz baino.

Joan gaitezen istorio honen helburura. Cassini, hala ere, ohartu zen loren orbita ez zela zehatza, eta orbiten eszentrikotasunari egotzi zion akatsa. Cassinik Jean Picard astronomoa bidali zuen Tycho Braheren behatokira, neurketen zehaztasuna aztertzerako. Bertan, Ole Rømer izan zuen laguntzaile, gure kontakizunaren azken protagonistak.

Rømerren datu gehienak galdu ditugu, 1728ko Kopenhageko sutean erre baitziren [12]. Baina badakigu 1668tik 1678ra bitarte eklipseak behatzen aritu zela, erre gabe geratutako paper bati zein Christian Huygens bidalitako gutun bati esker [13]. Rømer konturatu zen eklipseen ordua aldatu egiten zela Lurrak Jupiterrekiko zuen posizioaren arabera: konjuntzioan zeudenean, urrun, eklipseak aurrean baino beranduago gertatzen ziren, eta oposizioan zeudenean, gertu, aurrean baino lehenago. Aldaketa hori, gainera, pixkanaka gertatzen zen, eta Lurraren eta Jupiterren arteko distantziaren arabera zen [14].



lortuko zuela pentsatuz. Laurehun urte geroago, lo agertzen da *The Expanse* telesailan: bertatik mezu bat bidaltzen denean, behin eta berriz azaltzen da argiak zenbat denbora behar duen, fikziozko *ortzi-nauta* horien pantailetan. Baliteke egunen batean gizakia lora iristea; gertatzekotan, ioratzeko latitudea zein longitudea zein diren jakin beharko dute, bertan dagoen mineral-motako sari preziatua usiatzeko bada ere. ●

## Erreferentziak

- [1] The Associated Press (2003-07-12) «Arnold N. Nawrocki, Cheese Innovator, 78» The New York Times ISSN 0362-4331.
- [2] Castaños, E. «¿Cómo medir la velocidad de la luz en casa?» Lidia con la Química 2015-11-16 . Noiz kontsultatua: 2020-01-09.
- [3] Drake, S. (1995) Galileo at work : his scientific biography (Dover ed. argitaraldia) Dover Publications ISBN 0-486-28631-2 PMC 32508102.
- [4] Ayala, L. (2010). Surpassing human nature: Reinventions of and for the body as a consequence of astronomical experiments in the seventeenth and eighteenth centuries. *Metaverse Creativity*, 1(1), 101–113. doi:10.1386/mvcr.1.1.101\_1.
- [5] Galilei, G. (2012) *Le opere di galileo galilei*. Nabu Press ISBN 1-286-54512-9.
- [6] Pasachoff, Jay M. (May 2015). "Simon Marius's Mundus Iovialis: 400th Anniversary in Galileo's Shadow". *Journal for the History of Astronomy*. 46 (2): 218–234. Bibcode:2015JHA....46..218P. doi:10.1177/0021828615585493.
- [7] Galilei, G, *Sidereus Nuncius*.
- [8] Marius/Schlör, *Mundus Iovialis*, 78. Or.
- [9] Atal honi buruzko azalpen luzeagoa irakurtzeko aukera: Sobel, Dava (D.L. 2012) *Longitude* : bere garaiko zientzia-arazorik handiena ebatzi zuen jenio bakarti baten egiazko istorioa Ehu Press ISBN 978-84-9860-745-1 PMC 864229958.
- [10] Bedini, S. A. (1986). "The Galilean jovilabe". *Nuncius*. 1 (1): 24–26.
- [11] "Apparatus to render a telescope manageable on shipboard" in «Papers of the Board of Longitude : Papers regarding inventions and improvements of various astronomical and nautical instruments» Cambridge Digital Library.
- [12] Meyer, K. (1915), "Om Ole Rømers Opdagelse af Lysets Tøven", *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter*, 7. Række, naturvidenskabelig og matematisk Afdeling, XII: 3.
- [13] Rømer, O. (1677ko irailaren 30a), "Lettre N° 2104", in Bosscha, J. (ed.), *Œuvres complètes de Christiaan Huygens (1888–1950)*. Tome VIII: Correspondance 1676–1684, Haga: Martinus Nijhoff.
- [14] Cruikshank, D. P.; Nelson, R. M. (2007). "A history of the exploration of Io". In Lopes, R. M. C.; Spencer, J. R. (eds.). *Io after Galileo*. Springer-Praxis. pp. 5–33. ISBN 978-3-540-34681-4.
- [15] Bobis, L.; Lequeux, J. (2008), "Cassini, Rømer and the velocity of light" (PDF), *J. Astron. Hist. Herit.*, 11 (2): 97–105.
- [16] Huygens, C. (1690ko urtarrilaren 8a). Thompson, S. P. (ed.). "Treatise on Light". Project Gutenberg etext.
- [17] Oldford, R.W (2000). "The first evidence". *Scientific Method, Statistical Method, and the Speed of Light*. University of Waterloo.