



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

GIZA ZIENTZIAK ETA ARTEA

**Ebaluazio meta-enpirikoa
unibertsoren hasierako
iruditegian. Inflazio kosmikoaren
bideragarritasuna**

Beñat Monfort Urkizu

115-120 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.01.14>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Ebaluazio meta-empirikoa unibertsoaren hasierako iruditegian. Inflazio kosmikoen bideragarritasuna

Beñat Monfort Urkizu¹

Filosofiako departamentua, Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU/UPV), Tolosa Hiribidea, 70, Donostia, 20018.

benat.monfort@ehu.eus

Laburpena

Fisika teorikoaren eta esperimentalaren arteko urruntze progresiboaren ondorioz, teoria fisiko garaikideen *baieztapen empirikoa* zailtzen joan da, eta honek aldaketa bat sortu du teoria hauek ebaluatzeko moduan. *Teoria Meta-Empirikoen Ebaluazioa* (MEA, ingelesezko siglengatik) zailtasun honetan zentratzen da teoria garaikideen *bideragarritasuna* aztertzeke, fisikariak garatutako metodo berriak modu deskriptibo batean azaleratuz. IkerGazteko aurtengo kongresuan fisikoki garrantzitsua den kasu zehatz batean – *Inflazio Kosmikoa* – zentratuko naiz, teoria hau MEAra nola egokitzen den ikertzeke. Nire tesi nagusia ondokoa da: MEAk ondo islatzen du fisikari teoriko gehienek Inflazio Kosmikoa duten *konfiantza*, baina ez dute honen *bideragarritasuna* bermatzen. Ideia hau defendatzeko 2013an, Planck satelitearen emaitzak argitaratzean, sortu zen eztabaidan oinarrituko naiz.

Hitz gakoak: Teoria Baieztapena, Ebaluazio Meta-Empirikoa, Inflazio Kosmikoa, Teoria Alternatiboak.

Abstract

Meta-Empirical theory Assessment (MEA) argues that, due to the progressive distancing of theory from experiment, the way of evaluating contemporary physical theories has changed: as empirical confirmation became more difficult, physicists developed new methods to recognize which theories are worth pursuing, making it possible to assess theories with little or no empirical basis. At this year's IkerGazte congress, I shall focus on a concrete physically relevant case study – Cosmic Inflation – and investigate how that theory adjusts to MEA. My central thesis is that Dawid's three arguments represent well the reasons why most theoretical physicists keep trusting Cosmic Inflation but they do not guarantee its viability. To defend my point of view, I shall rely on the discussion that arose from the results of the Planck satellite in 2013.

Keywords: *Theory Confirmation, Meta-Empirical theory Assessment, Cosmic Inflation, Alternative Theories*

1. Sarrera eta motibazioa

Duela sei urte, 2017ko otsailean, artikulu bat argitaratu zuten Anna Ijjas, Paul J. Steinhardt eta Abraham Loeb kosmologoek. Hasiera batean argitara “Pop goes the Universe” izenburupean eman bazuten ere, norbait mintzeko beldur balira bezala, izena aldatzea erabaki zuten argitaratu eta bi astetara. Tonu ironikoa kentzeaz gain, esaldi deskribatzaileago bat hautatu zuten oraingoan: “Cosmic Inflation Theory Faces Challenges”(Ijjas et al., 2017). Eta ez zen gutxiagorako izan, izan ere, izenburua izenburu, artikuluaaren edukiak hamaika fisikariren barruak mugitu zituen. Urte bereko hurrengo liburukian iritsi zen erantzun ofiziala, goi mailako 33 zientzialarik sinaturikoa. Hauen artean, batzuk aipatzearen, Stephen Hawking, Lisa Randall Harvardekoa, Martin Rees Cambridgekoa, Rainer Weiss LIGOko sortzaileetako bat eta Fisikako Nobel sariak lortu dituzten John Mather, George Smoot, Steven Weinberg eta Frank Wilczek zeuden. Honela hasi zuten hauek artikulua:

In “Pop Goes the Universe,” by Anna Ijjas, Paul J. Steinhardt and Abraham Loeb, the authors (hereafter “IS&L”) make the case for a bouncing cosmology, as was proposed by Steinhardt and others in 2001. They close by making the extraordinary claim that inflationary cosmology “cannot be evaluated using the scientific method” and go on to assert that some scientists who accept inflation have proposed “discarding one of [science’s] defining properties: empirical testability,” thereby “promoting the idea of some kind of nonempirical science.” We have no idea what scientists they are referring to. We disagree with a number of statements in their article, but in this letter, we will focus on our categorical disagreement with these statements about the testability of inflation.

(Guth et al., 2017, 1)

Deigarria gertatzen da artikulu honen tonua. Izan ere, lehenagotik berotzen ari zen eztabaida baten leherketa da hau. Planck satelitearen¹ emaitzak kaleratu aurretik teoria inflazionarioaren kritika² batzuk aurki badaitezke ere, eta teoria alternatiboak³ garatzeko saiakeraren bat egon bazen ere, esan dezakegu eztabaidak indarra hartu zuela lehen aipatutako hiru fisikari ezagunek artikulu bat argitaratu zutenean “Physics Letters B” aldizkarian: “Inflationary paradigm in trouble after Planck 2013” (Ijjas et al., 2013). Satelite honen bitartez lortutako datu esperimentalek kalte egiten zieten teoria inflazionario esanguratsuenen ondorioztatu zuen hirukoteak. Utz iezadazue istorio honetako aktore nagusiak aurkezten: Paul Steinhardt, Princeton Unibertsitateko irakasle eta inflazio kosmikoaren jatorrizko arkitektoetako bat da; Anna Ijjas, New Yorkeko Unibertsitateko irakasle eta “New directions in Cosmology and Gravitational Theory” taldeko ikertzaile nagusia; eta Abraham Loeb, Harvard Unibertsitateko irakasle eta Galileo proiektuko burua. IS&L laburdura erabiliko dugu guk ere autore horiek talde gisa izendatzeko puntu honetatik aurrera. Artikulu honek erantzun azkarra sortu zuen beste kosmologo batzuen aldetik: hauek argudiatzen zuten IS&L-ren ondorioak hipotesi problematikotetan oinarritzen zirela eta inflazio kosmiko inoiz baino sendoago zegoela Planck2013 satelitearen emaitzei esker (Guth et al., 2014). Artikulu hau MIT-eko Alan Guth-ek eta David Kaiser-ek eta Kaliforniako Unibertsitateko Yasunori Nomura-k sinatu zuten.

Eztabaida honek bilakaera azkarra izan zuen. Bi taldetako kideek beraien argudioak garatu zituzten eta euren jarrera finkatu. Horrela, hiru urte beranduago, IS&L-k unibertsoaren hasierako iruditegiko hedapen esponenzialaren ideia menperatzailearen aurka argudiatzen zuten, eta defendatzen zuten gure unibertsoa ez zela *Bang* batetik hasi, *Bounce* batetik baino. Hitz gutxitan, aurretik uzkurituriko unibertso batetik sortu zela gurea. Honez gain, defendatzen zuten kosmologia inflazionarioa ezin dela metodo zientifikoaren bidez ebaluatu, eta inflazioa onartzen duten zientzialari batzuk baieztapen enpirikoa baztertzea proposatzen zutela, horrela zientzia ez-enpiriko baten ideia sustatuz. Azken aldarrikapen hauek izan ziren, batik bat, beste taldeak erantzuteko erabili zuten tonuaren erantzule. 33 zientzialariek inflazioaren frogagarritasunari buruzko adierazpen horiekin duten desadostasun kategorikoa azpimarratu zuten euren artikuluan, haien hasierako paragrafoan ondo adierazten den bezala. Hauek defendatzen zuten inflazioa frogagarria izateaz gain, proba ezberdin asko egin zaizkiola dagoeneko, eta orain arteko azterketa guztiak gainditu dituela. Beraien artikulua zientzia enpirikoa bizirik eta ongi dagoela oihukatuz bukatu zuten.

Eztabaida honek oihartzun handia izan zuen komunitate zientifikoan (fisika teorikoaren edo kosmologiaren arloan, behinik behin). Horregatik uste dut merezi duela eztabaida honen analisi bat – meta-analisi bat, agian, zehatzago – egitea. Horretarako, Stockholmeko unibertsitateko irakasle den Richard Dawid zientziaren filosofoaren arrazoiaketa ildo jarraituko dut.

2. Arloko goera eta ikerketaren helburuak

Ez daukat oso argi zer lortu nahi dudan eztabaidaren meta-analisi honen bidez, baina badakit zeintzuk ez diren ikerketa honen helburuak. Lan honek ez du, inondik inora, normatibo izan nahi. Kontziente naiz eztabaidan parte hartzen duten bi taldetako kide guztiek nik baino gehiago dakitela inflazio kosmikoaren teoriaz, eta ez naiz ni izango arrazoiak nork duen erabakiko duena. Bi taldetako kideek badakite zertaz ari diren, eta hala eta guztiz ere, eztabaida bat dago zientifikoki onartutako teori baten inguruan. Honetan oinarrituko naiz. Hemendik, modu deskriptibo batean, bi gauza aztertuko ditut. Batetik, ikusi nahi dut ea eztabaida hobeto uler daitekeen Dawidek

¹Planck sateliteak 2013. urtean argitaratu zituen lortutako emaitza esperimentalak lehenengo aldiz. Mikrouhin bidezko erradiazio kosmikoari dagokionez, ordura arteko datu esperimental esanguratsuenak izan ziren. Emaitza hauek, WMAP satelitearen emaitzekin batera, egin dute Λ CDM kosmologiako eredu estandar; parametro kosmologikoen neurketa “zehatzak” ahalbidetuz.

²Ikusi, adibidez, (Steinhardt, 2011).

³Begiratu (Hollands eta Wald, 2002) edo (Brandenberger, 2011).

proposaturiko teoria meta-enpirikoaren ebaluazioa aplikatuz, eta bestetik, eztabaidak berak Dawiden arrazoiketaz zer dioen ulertu nahi dut.

Horretarako, ikerketaren muinean sartu aurretik, lan honen bi euskarri nagusiak aurkeztuko ditut: bata filosofikoa, Dawiden ideiak uztartuko dituena, eta bestea fisikoa, inflazio kosmikoaren xehetasunak eta gaur egungo egoera azalduko dituena.

2.1 Euskarri filosofikoa: MEA

“String Theory and the Scientific Method” liburuan, Dawidek zera azpimarratzen du: fisika teorikoa fisika esperimentaletik aldenteak funtsezko krisia eragin duela fisika egiteko modu metodologikoan (Dawid, 2013, 42). Kontzeptualizazio teorikoaren eta konfirmazio enpirikoaren arteko dikotomia hori *paradigma zientifiko klasiko* gisa ulertzen da hemen. Paradigma horren barruan, hipotesi bat arrazoiketa teoriko baten bidez baieztatzeke aukera ukatu egiten da printzipio-arazo gisa. Dawidek *teoria baieztapena* zientzialariek teoria horren etorkizuneko iragarpenak gauzatzen duten konfiantzan oinarritzen du. Puntu hori azpimarratzeko, *bideragarritasunaren* kontzeptua erabiltzen du; bere argudioari jarraituz, teoria baten bideragarritasunak teoria baieztatuko luke.

Baieztapenaren nozio honen atzean dagoen arazo filosofiko nagusia teoriaren iragarpen berriak esperientziarekin bat etor daitezkeen ala ez zehazterakoan datza. Arazo horri heltzeko, Dawidek *azpideterminazio zientifikoaren* kontzeptua erabiltzen du: teoria zientifiko egoki bat aurki badaiteke, normala dirudi beste batzuk ere egon daitezkeela onartzea, eta *teoria alternatiboen* existentziak gure jatorrizko teoria bideragarria izateko aukerak murrizten ditu (Dawid, 2013, 48). Hala ere, Dawiden esanetan, aurrerapen zientifikorako garrantzitsua den azpideterminazio zientifiko mugatuta dago. Eta ez ebidentzia enpirikoagatik soilik, baita *ebidentzia meta-enpirikoagatik* ere.

Horrela, oinarri enpiriko sendorik ez duten teoria fisikoak meta-enpirikoki baieztatzeke, hiru *testuinguru-arrazoi* iradokitzen ditu Dawidek (2013, 30-38). Lehen argudioarekin, *Alternatibarik Ez Argudioarekin* (NAA, ingelesezko siglengatik), oinarrizko printzipioei eusteko batzuetan aukera bakarra dagoela arrazoitzen du; teoria alternatibo bakar batek ere ez omen du barne koherentzia asetzen. Bigarrenarekin, *Ustekabeko koherentzia Argitzailearen Argudioarekin* (UEA), azpimarratzen du teoria bat sortzean aurreikusten ez diren lorpenek sinesgarriago egiten dutela teoria hori komunitate zientifikoarentzat; hau da, hipotesi bat maila handiagoan berresten dela ebidentzia txundigarria denean. Hirugarrenak, *Argudio Meta-Induktiboak* (MIA), aurreko bi argumentuak bete dituzten teoria meta-enpirikoen bideragarritasuna justifikatzen du oinarri enpirikoa batean. Baina aplikagarritasuna, teoriaren esparrura mugatu ordez, ikerketa programaren testuingurura zabaltzen du MIA-k.

2.2 Euskarri fisikoa: inflazio kosmikoa

XX. mendean sortu eta garatu zen kosmologia modernoa. Aurrerapen teoriko zein esperimental guztiak kontutan hartzen dituen modelo kosmologiko kanonikoa Λ CDM⁴ da. Modelo honek, unibertsoaren eboluzioa azaltzeko, hiru fase bereizten ditu: erradiazioa nagusi zeneko aroa, materia nagusi zeneko aroa eta gaur egun, energia iluna nagusi deneko aroa. Garai bakoitzak bere ezaugarriak eta baldintzak ditu, baina gaurko egoera azaltzeko, beharrezkoa zaigu esponentzialki azeleratutako denbora tarte txiki bat sartzea Big Bang-aren ostean, erradiazioak menderatutako aroa baino lehen. Denbora tarte oso txiki batean unibertsoa ikeragarri hazi zela onartu ohi da, eta aldi horretan zentratuko gara lan honetan, inflazio garaian, hain zuzen ere.

Planck2013-ko emaitzen dokumentuan azaltzen den bezala, Inflazio Kosmikoaren oinarrizko ideia erradiazio garaian aurretik eman zen *hedapen esponentziala* da, *inflatoia* izeneko eremu eskalar batekin lortzen dena (Ade et al., 2014, 3). Egoera-ekuazio horrek *arazo kosmologiko* batzuk konpontzen ditu; hala nola, monopoloen arazoa, horizontearena, leuntasunarena eta entropiarena. Arazo horiek guztiek oso fin doitutako unibertso batekin⁵ egiten dute talka, eta inflazio kosmikoak iruditegi honen alternatiba sinesgarriago bat eskaintzen digu. Baina teoria honek ez ditu arazo guztiak konpontzen. Inflazioa baino lehenagoko unibertsoarekin zerikusia duten zenbait galdera uzten ditu agerian, nola *planck aroari* dagozkionak, hala *singularitateari* berari dagozkionak. Hemen ez dut, edonola ere, arazo hauetan sakonduko, eta inflazioaren egoera enpirikoan eta Dawiden hiru argudio metodologikoen aplikazioan

⁴A konstante kosmologikoa da, unibertsoaren hedapen azeleratuarekin eta energia ilunarekin du zerikusia. Eta CDM siglak ingelesezko *Cold Dark Matter* hitzetatik datoz, materia ilunarekin dute, beraz, zerikusia.

⁵Batzuetan, teoria behaketa jakin batzuetara egokitzeko, eredu fisiko baten parametroak doitu egin behar izatea dira. Fisika teorikoan erabiltzen diren oinarrizko konstanteak zehaztasun handiz ezagutzen dira gaur egun, eta badakigu konstante hauen balioa apur bat ezberdina izango balitz unibertsoko agente kontzienteen sorrera eta eboluzioa ez lirakeela posible izango. Fintzea eskatzen duten teoriak arazo filosofikoak ekartzen dituzte, ez baitago mekanismorik parametroen balioen zergatia azalduko duenik. Oinarrizko teoria fisiko batean parametroak ez direla gehiegi findu behar dioen arau heuristikoa *naturaltasuna* da.

zentratuko gara zuzenean.

Kosmologiaren esparruan, XX. mendean egindako aurrerapen teoriko esanguratsuenak esperimentalki baieztatuak izan direla onartu ohi da. Horrela, Λ CDM modeloak teoria arrakastatsuen baieztapenaren paradigma klasikoa jarraituko luke. Mikrouhin bidezko erradiazio kosmikoen aurkikuntzak eman zuten, batik bat, parametro kosmologikoen neurketa zehatzak egiteko aukera. Hala ere, garrantzitsua da azpimarratzea WMAP edo Planck sateliteek neurtutako argia Big Banga baino 375.000 urte geroago igorri zela, *birkonbinazio*⁶ izenez ezagutzen den gertatzen. Hau baino lehenago unibertsoa opakua zela esan ohi da. Ez da posible, beraz, inflatoi eremua zuzenean detektatzea⁷. Hala ere, kosmologo gehienak bat datoz birkonbinazioaren aurreko garaietako baldintzak argi honetan inprimatzen direla baieztatzen dutenean. Behaketa kosmologikoak⁸ dira, beraz, teoria honen ebidentzia-iturri nagusia.

3. Ikerketaren muina

Aurrez aipatu dugun bezala, kosmologo gehienek uste dute mikrouhin bidezko erradiazio kosmikoak informazio baliotsua ematen digula unibertsoaren hasierako iruditegiaren inguruan. 2015ean, eztabaidan bere jarrera hartuz, inflazioak behaketa kosmologikoen bidez frogatu daitezkeen hainbat iragarpen egiten dituela baieztatu zuen Andrei Linde kosmologoak (Linde, 2015, 24). Hau da, hain zuzen ere, iritzi menderatzailea: inflazioak metodologia zientifiko bat jarraitzen duela, arrazoiketa baztertzailan oinarritua (McCoy, 2021). Inflazio-eredu ezberdinak daude, eta batzuk dagoeneko baztertuak izan dira esperientziarekin bat ez dutelako egin. Zentzu honetan, konfirmazio empirikoa baino gehiago, kosmologoen muga empirikoez hitz egiten dute inflazio kosmikoen testuinguruan.

Arazonamendu lerro honen arazoa, IS&L-ren arabera, Plank satelitearen datu empirikoekin bat datozen eredu inflazionario onargarrienek *multibertso* bat iragartzen dutela da, eredu hauetan erabiltzen den potentzial inflazionarioak *betiereko inflazioa* dakarrelako. Hitz gutxitan, betiereko inflazioak proposatzen du inflazioa etengabe gertatzen ari dela unibertsoa puntu ezberdinetan, gure errealitatearekin konexio kausalik ez duten infinitu unibertso paralelo – multibertsoa – sortuz. Unibertso paralelo hauetan, fisikaren oinarriko konstanteak beste batzuk izan daitezke, eta honek aurrez aipatu dugun naturaltasunaren arau heuristikoa hautsiko luke. Izan ere, infinitu aukera izanda, zergatik ditu gure unibertsoak neurtu ditugun konstanteak? Puntu honi helduz, IS&L-k argudiatzen du inflazio kosmikoak azalpen-ahalmena galdu duela: 80. hamarkadan teoria hau sortzeko arrazoi nagusia finegi doitutako unibertsoaren alternatiba sinesgarriago bat ematea bazen, Planck satelitearen emaitzek iradokitzen duten teoria inflazionarioa arazo honetan bertan itoko da (Ijjas et al., 2013, 265).

Eztabaidaren funtsa, honenbestez, ez dago teoriaren esparruan, zientziaren metodologian baizik. IS&L-ren kritika ez da teoriaren koherentzia edo behaketen aplikagarritasunean oinarritzen. Desadostasuna kosmologiak nola egin behar duen aurrera dioen ideia metodologikotik dator. Aurrejuzu metodologiko honek erabat ondorio ezberdinak – kontraesankorrak, izatez – defendatzen eraman ditu bi taldeak, jarraian ikusiko dugun modura. Teoriaren bideragarritasuna epaitzeko talde bakoitzak jarraitu duen arrazoiketa lerroa aztertzeko, Dawiden hiru testuinguru-argudioak erabiliko ditut:

- Lehen argudioa, lehen desadostasuna. 2011. urtean argitaratutako artikuluan ikus daitekeen modura, Steinhardt defendatzen du badirela alternatiba pentsagarriak inflazioa etengabea ekidin dezaketena (Steinhardt, 2011). Lau urte beranduago, Lindek zioen zaila dela ikustea kosmologia inflazionarioaren alternatiba errealik, alternatiba horien bilaketa aktiboa eman arren (Linde, 2015, 67).
- Bigarren argudioa, bigarren desadostasuna. Ustekabeko koherentziaren argudio gisa, iragarpenen materializazioa erabiliko dut. IS&L-k baieztatzen du inflazioa hain dela malgua, ezen ezinezkoa baita esperimentu baten bidez ezeztatzea. Iragarpen ezberdinak egiten dituzten eredu inflazionarioak daudela diote, eta horregatik uste dute inflazio kosmikoak ez duela predikatzen ahalmenik (Ijjas et al., 2017). Honi erantzunez, 33 fisikariek azpimarratzen dute inflazio-eredu estandar batzuk dagoeneko baztertuak izan direla datu empirikoen bidez, beste askok arrakastatsua izaten jarraitzen duten bitartean; eta eredu onargarrienek “antzeko” iragarpenak egiten dituztela (Guth et al., 2017).

⁶Elektroiak eta protoiak elkartu ziren lehen aldian, elektrikoki neutroak ziren hidrogeno atomoak eratuz eta fotoien igorpen askea ahalbidetuz.

⁷Chris Smeenk-ek “Why trust a theory?” liburuko bere kapituluaren esanetan bezala, inflatoi eremuak ondorioak ditu partikulen fisikan ere, baina praktikan ez dugu inoiz azeleragailurik eraikiko inflatoiaren propietateak zuzenean neurtzeko gai izango denik, horretarako behar den energia kantitatea eskura ezinezkoa baita gaur egungo ikuspuntutik (Smeenk, 2019, 331).

⁸Behatzaileek duten rol pasiboa kosmologiaren bereizgarri hartu ohi da, fisikaren gainontzeko esparruetan esperimentuak modu aktiboan proposatzen baitira. Partikulen fisikan, esaterako, partikula azeleragailuak eraiki dira teoriak enpirikoki baieztatzeko.

- Hirugarren argudioa objektiboagoa da, oinarri enpirikoa baitu. Maila metafisikoan, teorikoki kontzeptualizatu ondoren enpirikoki berretsi diren teoria guztiek, inflazio kosmikoa garatzen laguntzen dutenek, bere estatusa hobetzen dute, euskarri filosofikoan aipatu dugun bezala. Honenbestez, inflazioarekin zerikusia duten bi teoriarik paper garrantzitsua dute Dawiden argudio meta-induktiboan. Inflazioak Erlatibitate Orokorra erabiltzen du espazio-denboraren teoria gisa eta eremu eskalar bat (inflatoia) hedapen azeleratuaren fasea sortzeko. Bi teoria horiek arrakastaz baieztatuak izan dira paradigma klasikoaren barruan. Inflazio kosmikoa, beraz, Erlatibitate Orokorra eta Partikulen Fisikaren Eredu Estandarrak berresten dute, Dawiden arrazonamendu ildoari jarraituz.

4. Ondorioak

Lan honek bi foku nagusi izan ditu. Batetik, teoria fisiko garaikide bat, edo, zehatzago, Inflazio Kosmikoaren bideragarritasunaren desadostasunetik sortutako eztabaida. Bestetik, Dawiden arrazoibidea, teoria meta-enpirikoen ebaluazioaren ingurukoa. Dawiden aldarrikapen nagusia da bere hiru testuinguru-argudioen arrakasta nahikoa dela teoria bat meta-enpirikoki baieztatzeko eta honen bideragarritasuna bermatzeko. Arrazonamendu honetaz baliatu gara Inflazio Kosmikoaren bideragarritasunaren desadostasuna aztertzeko. Eztabaidaren meta-analitik bi ondorio nagusi atera ditzakegu, gure arrazoiaketa bi noranzkotan joan baitaiteke. Alde batetik, ikus dezakegu eztabaidan parte hartzen ari diren agenteak MEAz baliatzen ote diren beraien ondorioak ateratzeko. Eta bestetik, emaitza horiek Dawiden arrazoiaketa nola eragiten duten ere ikus dezakegu.

Dawiden hiru testuinguru-argudioak aurkitzeko gai izan gara nola IS&L-ren hala gainerako kosmologoen arrazoiaketa lerroetan. Are gehiago, uste dugu MEAk ondo irudikatzen dituela kosmologo gehienek Inflazio Kosmikoan konfiantza izateko arrazoiak. Baina baita kosmologo talde minoritario batek teoriaren aurko egin izanaren arrazoiak ere. Izan ere, teoria fisiko beretik abiatuta eta ebaluatzeko metodo berdina jarraituta, talde bakoitzak ondorio ezberdina ateratzen du: IS&L-ren arabera, NAA eta UEA ez dira betetzen inflazioaren teoriarako. Horregatik uste dute, Dawiden arrazoibideari jarraituz, teoria ez dela bideragarria. Gainerako kosmologoentzat, ordea, Dawiden hiru argudioak betetzen dira inflazioaren alde eta teoria bideragarria dela uste dute.

Eztabaidako bi talde hauetan MEA identifikatzeko gai izanak erakusten du Dawiden argudioak ez direla seguruak aurrejuzgu metodologikokoekiko, ezta agian metafisikoekiko ere. Horrek Dawidek bere hiru argudioei eskatzen dien konpromiso epistemikoa zalantzan jartzera narاما, Pablo Ruiz de Olanok proposatzen duen modu berean (Ruiz de Olano, ming). Uste dut inflazio kosmikoaren bilakaera eta azkenengo aurrerapenak modu pragmatikoagoan uler daitezkeela: talde bateko kideek diote inflazio kosmikoa bide onetik doala, eta horrela teoria gehiago garatzen edo enpirikoki murrizten saiatzen dira. Beste taldeko kideek, ordea, inflazioak ez duela gehiago ikertzerik merezi uste dute, eta, beraz, alternatiba potentzialak bilatzen dihardute.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Zenbait arazo teoriko zein experimental baditu ere, Inflazioa kosmologiako paradigma nagusia bihurtu da, lan honetan aztertutako eztabaidaren presentzia jakina den arren. Nire asmoa ez da, oraingoz behintzat, bertan zuzenean parte hartzea jarrera normatiboago batekin; eztabaidaren meta-analisiarekin jarraitzea baizik. Horretarako, eta bi taldeak ondorio kontraesankorretara nola iritsi diren hobeto ulertzeko, lan honetan aipatutako aurrejuzgu metodologikoak identifikatzen saiatuko naiz orain epistemologia historikoaren laguntzaz. Esaterako, teoria inflazionarioaren eboluzioa azaleratzeak – sortu zenetik gaurdaino, bere jarraitutasun eta hausturekin – IS&L-ren kezka metafisikoak hobeto ulertzen lagun dezakeela uste dut.

Erreferentziak

Ade, P. A. R., Aghanim, N., Armitage-Caplan, C., Arnaud, M., Ashdown, M., Atrio-Barandela, F., Aumont, J., Baccigalupi, C., Banday, A. J., Barreiro, R. B., Bartlett, J. G., Bartolo, N., Battaner, E., Benabed, K., Benoît, A., Benoit-Lévy, A., Bernard, J.-P., Bersanelli, M., Bielewicz, P., Bobin, J., Bock, J. J., Bonaldi, A., Bond, J. R., Borrill, J., Bouchet, F. R., Bridges, M., Bucher, M., Burigana, C., Butler, R. C., Calabrese, E., Cardoso, J.-F., Catalano, A., Challinor, A., Chamballu, A., Chiang, H. C., Chiang, L.-Y., Christensen, P. R., Church, S., Clements, D. L., Colombi, S., Colombo, L. P. L., Couchot, F., Coulais, A., Crill, B. P., Curto, A., Cuttaia, F., Danese, L., Davies, R. D., Davis, R. J., de Bernardis, P., de Rosa, A., de Zotti, G., Delabrouille, J., Delouis, J.-M., Désert, F.-X., Dickinson, C., Diego, J. M., Dole, H., Donzelli, S., Doré, O., Douspis, M., Dunkley, J., Dupac, X., Efstathiou, G., Enßlin, T. A., Eriksen, H. K., Finelli, F., Forni, O., Frailis, M., Franceschi, E.,

- Galeotta, S., Ganga, K., Gauthier, C., Giard, M., Giardino, G., Giraud-Héraud, Y., González-Nuevo, J., Górski, K. M., Gratton, S., Gregorio, A., Gruppuso, A., Hamann, J., Hansen, F. K., Hanson, D., Harrison, D., Henrot-Versillé, S., Hernández-Monteagudo, C., Herranz, D., Hildebrandt, S. R., Hivon, E., Hobson, M., Holmes, W. A., Hornstrup, A., Hovest, W., Huppenberger, K. M., Jaffe, A. H., Jaffe, T. R., Jones, W. C., Juvela, M., Keihänen, E., Keskitalo, R., Kisner, T. S., Kneissl, R., Knoche, J., Knox, L., Kunz, M., Kurki-Suonio, H., Lagache, G., Lähteenmäki, A., Lamarre, J.-M., Lasenby, A., Laureijs, R. J., Lawrence, C. R., Leach, S., Leahy, J. P., Leonardi, R., Lesgourgues, J., Lewis, A., Liguori, M., Lilje, P. B., Linden-Vørnle, M., López-Cañiego, M., Lubin, P. M., Macías-Pérez, J. F., Maffei, B., Maino, D., Mandolesi, N., Maris, M., Marshall, D. J., Martin, P. G., Martínez-González, E., Masi, S., Massardi, M., Matarrese, S., Matthai, F., Mazzotta, P., Meinhold, P. R., Melchiorri, A., Mendes, L., Mennella, A., Migliaccio, M., Mitra, S., Miville-Deschênes, M.-A., Moneti, A., Montier, L., Morgante, G., Mortlock, D., Moss, A., Munshi, D., Murphy, J. A., Naselsky, P., Nati, F., Natoli, P., Netterfield, C. B., Nørgaard-Nielsen, H. U., Noviello, F., Novikov, D., Novikov, I., O'Dwyer, I. J., Osborne, S., Oxborrow, C. A., Paci, F., Pagano, L., Pajot, F., Paladini, R., Pandolfi, S., Paoletti, D., Partridge, B., Pasian, F., Patanchon, G., Peiris, H. V., Perdureau, O., Perotto, L., Perrotta, F., Piacentini, F., Piat, M., Pierpaoli, E., Pietrobon, D., Plaszczynski, S., Pointecouteau, E., Polenta, G., Ponthieu, N., Popa, L., Poutanen, T., Pratt, G. W., Prézeau, G., Prunet, S., Puget, J.-L., Rachen, J. P., Rebolo, R., Reinecke, M., Remazeilles, M., Renault, C., Ricciardi, S., Riller, T., Ristorcelli, I., Rocha, G., Rosset, C., Roudier, G., Rowan-Robinson, M., Rubiño-Martín, J. A., Rusholme, B., Sandri, M., Santos, D., Savelainen, M., Savini, G., Scott, D., Seiffert, M. D., Shellard, E. P. S., Spencer, L. D., Starck, J.-L., Stolyarov, V., Stompor, R., Sudiwala, R., Sunyaev, R., Sureau, F., Sutton, D., Suur-Uski, A.-S., Sygnet, J.-F., Tauber, J. A., Tavagnacco, D., Terenzi, L., Toffolatti, L., Tomasi, M., Tréguer-Goudineau, J., Tristram, M., Tucci, M., Tuovinen, J., Valenziano, L., Valiviita, J., Tent, B. V., Varis, J., Vielva, P., Villa, F., Vittorio, N., Wade, L. A., Wandelt, B. D., White, M., Wilkinson, A., Yvon, D., Zacchei, A., Zibin, J. P., & Zonca, A. (2014). Planck 2013 results. XXII. constraints on inflation. *Astronomy & Astrophysics*, 571:A22.
- Brandenberger, R. H. (2011). Alternatives to the inflationary paradigm of structure formation. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 1:67–79.
- Dawid, R. (2013). *String Theory and the Scientific Method*. Cambridge University Press.
- Guth, A. H., Kaiser, D. I., Linde, A. D., Nomura, Y., Bennett, C. L., Bond, J. R., Bouchet, F., Carroll, S., Efstathiou, G., Hawking, S., Kallosh, R., Komatsu, E., Krauss, L. M., Lyth, D. H., Maldacena, J., Mather, J. C., Peiris, H., Perry, M., Randall, L., Rees, M., Sasaki, M., Senatore, L., Silverstein, E., Smoot, G. F., Starobinsky, A., Susskind, L., Turner, M. S., Vilenkin, A., Weinberg, S., Weiss, R., Wilczek, F., Witten, E., & Zaldarriaga, M. (2017). A cosmic controversy. *Scientific American*, 317:5–7.
- Guth, A. H., Kaiser, D. I., & Nomura, Y. (2014). Inflationary paradigm after planck 2013. *Physics Letters B*, 733:112–119.
- Hollands, S. & Wald, R. (2002). Essay: An alternative to inflation. *General Relativity and Gravitation*, 34:2043–2055.
- Ijjas, A., Steinhardt, P. J., & Loeb, A. (2013). Inflationary paradigm in trouble after planck 2013. *Physics Letters B*, 723:261–266.
- Ijjas, A., Steinhardt, P. J., & Loeb, A. (2017). Cosmic inflation theory faces challenges. *Scientific American*, 316:32–39.
- Linde, A. (2015). Inflationary cosmology after planck2013. In Deffayet, C., Peter, P., Wandelt, B., Zaldarriaga, M., & Cugliandolo, L. F., editors, *100e Ecole d'Ete de Physique: Post-Planck Cosmology*, 231–316. Oxford University Press.
- McCoy, C. D. (2021). Meta-empirical support for eliminative reasoning. *Studies in History and Philosophy of Science*, 90:15–29.
- Ruiz de Olano, P. (forthcoming). Confirmation, or pursuit-worthiness? Lessons from J. J. Sakurai's 1960 theory of the strong force for the debate on non-empirical physics. *Studies in History and Philosophy of Science*.
- Smeenk, C. (2019). *Gaining Access to the Early Universe*, 315–336. Why Trust a Theory?: Epistemology of Fundamental Physics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Steinhardt, P. J. (2011). The inflation debate. is the theory at the heart of modern cosmology deeply flawed? *Scientific American*, 304:36–45.

6. Eskerrak eta oharrrak

Eskerrik asko ikerketa honetan bidelagun (eta zenbaitetan gidari) izaten ari diren Jaume Navarro eta Pablo Ruiz de Olanori, nire tesiaren zuzendari lanak egiteagatik. Euskal Herriko Unibertsitateari eskerrak eman nahi dizkiot sostengu ekonomikoagatik, eta baita Zientziaren Historiarako Max Planck Institutoari (MPIWG) ere, egonaldia emankor bat egiteko aukera emateagatik, bertan sortu baitzitzaidan gai hau ikertzen hasteko inspirazioa.