

David Hilbert and the Axiomatization of Physics (1898-1918)

LEO CORRY

Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004, xvii + 513 or.

Liburu hau David Hilbert matematikariak fisikaren axiomatizazioaz eginiko hausnarketez zientziaren historialari batek eginiko hainbat ikerketa urteren emaitza da. Israelgo Tel-Aviv Unibertsitatearen baitakoa da liburu honen egilea den Leo Corry irakaslearen ohiko lantokia, Zientziaren Historia eta Filosofiarako Cohn Institutua. Aurreko hamar urteetan, Berlingo *Max-Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte* delakoan eta MITeko Teknologiaren eta Zientziaren Historiarako Dibner Institutuan egon da egilea, ikerketa-proiektuari hasiera eta garapena emateko. Liburuaren aitzin-solasean eta ondorengo esker onean topa daitezke liburu hau mamitu duten haziak: iturri nagusizat Hilberten ondarea gordetzen duen *Nachlass* David Hilbert liburutegia, beste liburutegi batzuen artean, eta batez ere bertan gordetzen diren Göttingengo Hilberten klase irekietako ikasleen apunteak, orain arte bazter utziak eta Hilbert beraren esanetan diziplinarteko irismen zabaleko pentsaketa metodo funtsezkoak zitzaizkionak.

Fisikarientzat bakarrik lagatzeko zailegia iritzita, 1900eko Parisko Matematikarien Bigarren Nazioarteko Kongresu arras famatuan, Hilbertek etorkizunera begira aurkeztu zituen hogeita hiru problema matematikoetan sartu zuen fisika. Zerrendako seigarren problema zen fisikaren axiomatizazioarekin lotutakoa. Matematikak paper garrantzitsua duen zientzia fisikoak axiomen bitartez tratatzea proposatzen zuen. Harrezkero matematikariak buru-belarri murgildu izan dira zerrenda horretako problemetan, seigarren honetan izan ezik, oso gutxi erreparatu izan zaio-eta. Agidanez, urrunegi joan zen Hilbert seigarrenarekin matematikarientzat.

Baina ez da seigarren problemara soilik mugatzen Hilbertek fisikari egin dion ekarpena. Ekuazio integral linealen teoriaran ari zelarik, adibidez, 1912ko Boltzmannen gasen teoria zinetikoaren ekuazioa askatu zuen. 1915ean are ekarpen garrantzitsuagoa egin zuen, Einstein liluratzerraino, Erlatibitate Orokorren Teoriaren (GTR) baitako grabitatearen eremu-ekuazioak formulatuz. Aipatu beharrekoa da formulazio horren Einsteinen bertsioa Hilbertena baino

bost egun *beranduago* agertu zela. Alta, fisikaren baitan Hilbertek eginiko barneraketok sasi-ikerketatzat jo izan dira maiz, bere abilitade matematikoak eta metodo axiomatikoa proban jartzeko bere kabuzko ahalegina bailitzan. Eta, noski, Einsteinen traineru irabazlera igotzeko egindakotzat ere jo izan dira.

Haatik, kontrakorik dioenik ere badago. Leo Corryk liburuko sarreran egiten duen legez, Hilberten ikasle onenetakoa izan zen Hermann Weylen araberrako Hilberten bizialdiko ikerlanaren banaketa kronologiko bera aipatuko dut nik ere: (1) inbarianteen teoria; (2) numero algebraikoen teoria; (3) geometriaren eta, oro har, matematikaren oinarriak; (4) ekuazio integralak; eta azkenik, (5) fisika. Weylen azterketa historikoak eremu horietako batek besterako pausoa irmoa eta itzulezina izan zela erakusten du; eta horren kariatara, Hilbertek fisikan eta seigarren probleman egin zuen hausnarketan historikoki sakontzeko motibazioa aurkitzen du liburuaren egileak irakurlearen aitzinean.

Horrela bada, Hilberten fisikarekiko interesa bere mundu matematikoaren osotasunaz jabetzen zela erakustea da liburu honen xedea. Corryren aburuz, Hilberten ahalegin axiomatikoa ez zen soilik geometriaren oinarriez egin zuen ikerlan goiztiarretik azaleratu, fisikaren oinarriez egin zuen lanetik ere asko edan zuen. Bere fisikari buruzko jarduerak leku gailen batean ipini barik ezin dira ulertu Hilberten kontzepzioak. Eta horrela bakarrik uler daitezke XX. mendeko fisikari egin zizkion ekarpen esanguratsuak. Zabaldu izan da Hilberten axiomatizazioak *joko* antzeko bat saretzen duela, bere arau, zeinu eta berariazko arbitrajeak ezarrita, egiari baino gehiago arauak konplitzeari begiratzeko diona. Baina eta orduan, hori baldin bazen Hilberten matematikaren ikuspegia, zer senarekin aplikatu nahi izan zion ikuspegi hori fisikari, eta bere seigarren problemari? Horra hor, Leo Corryk liburu honetan jarraitu duen ildoak. Egin duen dokumentazio eta diziplinarteko lan eskergak ongi betetzat ematen du bere asmoa, erakutsiko dudanez.

Bederatzi kapitulu ditu liburuak, kronologikoki atonduak. Historiaren harria jarraituz eginiko ikerketatik ateratako ondorioak aurkezten ditu azken kapituluko epilogoan. 1895ean Göttingenera joan zenetik 1915ean Einsteinen eta Mieren alboan GTRren inguruan egin zuen laneraino segitzen du Leo Corryk Hilberten arrastoa, tarte horretan Minkowski bere lagunarekin izan zuen kolaborazio sendoa azpimarratuz.

XIX. mendeko ikerketak Hilbertengan utzi zuen hondoa aztertzen du lehenengo kapituluak. Hilberten karreraren hasiera eta inbariante eta zenbaki algebraikoetan egin zuen lana aipatzen da lehenbizi. Mende bukaerako geometriaren eta fisikaren oinarrietan zeuden joera nagusiak datoz gero, Riemanni eta Boltzmann eta Hertzi pisu berezia emanek. Bukatzeko, 1895ean Göttingenen egiten zen fisika eta matematika aurkezten dira lehen kapitulu honetan; eta, nola ez, Felix Kleinen irudia azpimarratzen da. Aipatzekoa da jakingai matematiko zatibanatuak batzeko Kleinen *Encyklopädie* proiektuari

liburuak dedikatzen dion zabalera, Kleinen zuzendaritzapeko artikuluek izan behar ohi zuten eduki historikoa azpimarratzearen. Horren harira kokatzen du liburuak Hilberten matematikaren baitako eta hortik kanpoko diziplinari-teko ezagutza historiko zabalaren jatorri bat. Eta horren harira ongi kokatzen ditu egileak bere xedearen zutabeak.

Bigarren kapituluko kontuak hobeki uler daitezke hondo horrekin. Hilbert Göttingenera iritsi zen, eta mendearen azken hamarkadan bere metodo axiomatikoa finkatu zuen. Metodoaren indartze hori deskribatzen du kapitulu- luan zehar. *Grundlagen der Geometrie*, geometriaren oinarriei buruzko liburua argitaratu zuen, eta liburuaren ikuspuntuak eta horien inguruan gertatu ziren erreakzioak kontatzen dira hemen; Husserl filosofoaren aprobazioa bezalakoak edo Italiatik, Peano zirkuluko kideengandik eta batez ere Fregerengandik, aile- gatutako kritikak bezalakoak. Azken horrek bereziki kritikatu zuen osagarritasun axioma maila ontologikoa frogatzeko baliabide gisa. Horrelako eztabaida filosofikoetan sakontzeko bidea ere eskaintzen dio liburuak irakurleari.

Hilberten gogoan geometria zientzia enpirikoa zela defendatzen du liburu-aren egileak, eta ez zientzia formala. Horregatik ekartzen ditu ahora Hilbertek fisikaren eta geometriaren artean egin zituen analogiak. Metodo axiomatikoa ez da joko formal hutsa, eduki konkretu barik, kontrakoa da: teoriaren eduki matematikoaz dugun ulermena indartzeko balio du eta bertan agertzen diren kontraesanak edo garrantzi gabeko baieztapenak baztertzeko. Horren harira, eta etsenplurako, Arthur Miller historialariak (erlatibitate bereziaren eta has- tapeneko mekanika kuantikoaren genesian eta sormen-prozesuan aditua da) hainbeste aipatzen duen *Anschaaung* delako intuizioa ere (1984) azpimarra- tzen du Leo Corryk, Hilbertek geometria esparru matematiko berezizat zuela azpimarratzearen. 1900eko seigarren problemari testuinguru historikoa ema- ten dio horrek guztiak; eta seigarren problema horren atzean dauden ideiek, berriz, abiapuntu bat Hilberten fisikaren ondorengo adarkadurei.

Hurrengo hiru kapituluaren ardatz nagusiak aurrekoetan aipatutako ideiek teoria fisiko zehatzetan izan zuten garapenaz dihardu. Horrela, 3. kapituluak 1900-1905 epealdia aztertzen du. Betiere ikuspegi hagitx enpirista baten bai- tan, geometriaren eta aritmetikaren oinarriez eta fisikarenez arduratu zen Hilbert. Minkowski bere laguna ere 1902an ailegatu zen Göttingenera, eta elkarlan emankorra izan zuten, bai matematikan eta bai fisikan. Corry egile-aren ustez, eta horri ematen dio pisu gehien kapituluak, garapenon gailurra Hilbertek 1905ean metodo axiomatikoaz eskaini zuen kurtsoan topa daite- ke. Mekanika, termodinamika, probabilitate kalkulua, gasen teoria zinetikoa, aseguru matematika (heriotza-aseguruekin, beraz herio-probabilitatearekin, lotua eta termodinamikaren parekotasun handiak erakusten zituena), elek- trodinamika eta psikofisika (intentsitate fisikoa eta distira psikologikoa parez pare jartzen zituen koloreen pertzepzioaren teoria psikologikoa) bezalako gai zehatzak nola sasi-axiomatizatu zituen eta horien artean zer eratako loturak

iradoki zituen aurkezten du. Sasi-axiomatizatu diot, geometriarekin ez bezala, Hilbertek sekula ez baitzuen frogatu diziplinotan sartu zituen sistema axiomatikoen independentzia, bateragarritasuna eta osagarritasuna. Gainera, ez dakigu zenbateraino sakondua zuen fisikan erakusten zuen erudizioa. Eskema soil batzuk eman zituen izatez, ikerketa axiomatikoaren iparra seinalatzearen. Hementxe jarri zuen fisika matematikoaren baitako bere ibilbidearen lehen zutarria. Irakurlea gehien harritzen duena zera da, matematikaren baitako gai zehatzenak ezagututa, nola zekien hainbeste fisikako hain gai zehatzez. Egi-leak ere onartzen du nolabait argitzen saiatzen den kontu hori.

4. kapituluak Minkowski dauka ardatz. Horrek 1907tik 1909ra arte, bat-batean hil zen arte, elektrodinamikan eta erlatibitatearen printzipioan egin zituen ekarpenak aztertzen ditu liburuak. Bietan egin zuen azterketa axiomatikoari jarraipen zehatza eta ilustratua egiten dio, erlatibitatearen postulatuak elektrodinamikaz kanpoko gaietan aplikatzearen ondorioak termino axiomatikoetan aztertu zituela azpimarratuz. Tartean, Göttingenen zebilen Max Born gaztearengan Hilbert & Minkowski bikoteak izan zuen eragin sakona ere aipatzen du liburuak, gerora metodo axiomatikoak Bornen mekanika kuantikoaren garapenean izan zuen oihartzuna ere azpimarratzearen. Izan ere, Hilberten axiomatizazio programaren argiaren pean aztertu nahi ditu Leo Corryk aferok, Minkowskiren lanaren xehetasun berriak ikusaraz ditzakeelakoan eta Hilberten programaren garrantzizko inplementazio batzuk ager ditzakeelakoan. Horregatik guztiagatik, Hilberten programaren potentzialaren erakusleihatatzat dauka Minkowskiren lana. Poincaréren 1905eko lanak Lorentzen kobariantzia eta transformazio taldeen teoria batzen zituen, baina Minkowski izan zen horiek espazio-denboraren barietate 4-dimentsionalean sartu zituena. Berrikuntza horretan, liburuaren egilearen ustez, Einsteinen ezinbesteko jatorrizko lanaz aparte, Hilberten programaren eragina dago, eta horrek denboraren izaera argitzekotan zinetikaren axiomak eta geometriarenak mihiztatzeko adierazten zuen beharra. Arras zorrotz funtsatzen du liburuak, xedea hala duelako eta komeni zaion pisua emanda, Minkowskiren lan historikoaren gako nagusi denaren jatorri hiltbertiarra eta axiomatikoa. Finean, STRren azterketa historikoetan topa dezakegun ildo ortodoxoari darraio liburuak, berriki filosofoen artean agertzen ari diren geometrizazioaren kontrako eta alderdi dinamiko-newtondarren aldeko jarrerak aipatu ere egin barik.

Hilberten fisikari buruzko lanaren 1909-1914 tarteari dagokio 5. kapituluak. Teoria zinetikoan, erradiazioaren teorian eta materiaren egitura-ri buruzko auzietan jardun zen garai hartan. Hilbertek erreduktionismo elektromagnetikorantz izan zuen desbideraketa da gai hauek guztiak jorratu bitartean antzeman daitekeen jarraibiderik interesgarriena, hasierako metodologia axiomatikoan antzematen zitzaion hondo mekanizistatik urrunduz. 1913tik aitzinera fisikara gerturatzeko modu berria eskaini zion bide horrek, GTRri buruzko 1915eko bere lana gidatzeraino. Bere testu akademiko ofizialean ez da gehiegi nabari hori, baina kurtsoetako apunteak eta artxiboetako

materialak norabide horretan daude. Egileak informazio iturri arruntetatik kanpo egin duen bilaketa lan eskerbaren emaitza da kapitulu hau ere.

Hurrengo hiru kapituluetan eta horiei segitzen dien azken epilogoan daude liburuaren ekarpenik originalenak eta interesgarrienak. Hilbertek GTRren ingurumarian egin zuen lana dute aztergai. Elektromagnetismoaren eta grabitazioaren teoria bateratua aurkeztu zuen, esan bezala 1915ean, 1917ra arteko irismena izan zuen gogoetaren baitan. Eskuarki printzipio bariatzional batean, eta bereziki, Einsteini zor zitzaion aldagaiztasun orokor baten beharreen eta Mieren mundu-funtzioaren axioman, haiexetan oinarritu zuen bere teoria. Komeni da, hizkuntza matematikoarekin ohitzearen eta orduko fisikarien lekuan jartzearen, zati hau garaiko gida-liburu on batekin batera irakurtzea; Paulik entziklopedia alemaniarerako idatzi zuen 1921eko *Theory of Relativity* bikainarekin adibidez (Pauli, 1981).

6. kapitulan, hain justu, bi zutaberekin eusten du liburuak Hilberten teoriaren aitzin-testuingurua. (i) Erlatibitatearen printzipioa grabitate-fenomenoak barneratzeko lain orokortzeko Einsteinen arestiko eginahala zen zutabe bat, SPR baino aldagaiztasun mota malguagoagoa behar zuena. Eginahal horretan grabitate-eremuaren eta erreferentzia-sistema azeleratuaren «baliokidetasun printzipioak» du garrantzi nagusia. Liburuak energia-momentu tentsoreraino, espazio-denboraren metrika kurbaturaino eta eremu-ekuazioetaraino iristeko egon zen eztabaida eta hausnar historikoa harilkatzen du, labor baina zorrotz, matematika eta formulak baztertu gabe. Hilbertengana hurbilduz, Einstein Levi-Civitarekin laguntzaz teknika matematiko bariatzionalietarantz nola lerratu zen nabarmentzen du amaieran. (ii) Gustav Mie 1912an diseinaturiko materiaren teoria elektromagnetikoa. Mundu-ikuskeraz elektromagnetikoaren doktrina ezartzea zuen xede, eta bereziki, elektroia eterrarekiko independenteki fisikoki existitzen den gauzatzen ezin daitekeela har erakustea. Duela urte batzuk jarraitzaile ezagun zenbait izan zituen programa horrek, baina jada abandonatutako alde batera utzitako asmoa zen Mie aferan engaiatu zenean. Aitzitik, bide berri bati ekin zion Mie termino matematiko hutsak erabiliz. Eterraren baitako singularitasuntzat tratatu nahi zuen zeinahi partikula, mundu-lerroen mulkotzat materia osoa. Teoria grabitazional eskalar bat garatu zuen horrela, GTR moduko teoria tentsorial, kobariante bat beharreen. Aitzitik, baliagarria izan zen hori Hilbertentzat materiaren azalpen elektrodinamiko bezala, liburuak dataz data erakusten duenez, 1915era hurbildu ahal, kongresu eta hitzaldietan Mieren lana geroz eta gehiago azaleratzen baita Hilbertengan.

1915eko azaroan aurkeztu zuen Hilbertek bere teoria eta 1916ko martxoan argitaratu. Aldi horretako prozesuan barneratzen da 7. kapitulu, teoriaren genesiari Mieren energia-momentu tentsorea eta bere «energia ekuazio inbariantea» erlazionatu arterainoko jarraipena eginez, grabitazioa eta materiaren egitura bateratuko dituzten ekuazioen bilaketan. Genesi horren hastapenean,

Corryk bereziki aipatzen du 1915eko azaroan Hilbertek Einsteini helarazitako eskutitz bat, Hilberten erlatibitate teoriarenganako atxikipena Einsteinen traineru irabazlera igotzeko saiakera txepel bat ez zela erakustearren. 1916an bere komunikazioa publikatu artean, maiz hausnartu zuen bere lanaren konplexutasunez, eta horren kariatara, bere teoria propioaz mintzatzeari laga eta GTRri eginiko bere ekarpenaz mintzatzeari ekin zion Hilbertek. Halatan, Einsteinen teoria grabitazioaz haratagoko esparruetan garrantzi gabekotzat zeukan hasierako Hilberten gogoeta-agendarekin, diziplina buruaski legez ekin zion bere bideari GTRk. Luze jo zuen erdiespena izan zen printzipio bariazional inbariantetik Einsteinen grabitazio-teoria ondorioztatzea, baita gero Noetherren teorema bihurtuko zen kasu berezi baten formulazio matematikoa ere. Aitzitik, ekuazioen alderdi fisikoari buruz lortutakoak hagitz garrantzigeagoak izan ziren. Bere teoria bateratua laster ahaztuko zen. Horren gainean aipatzen du liburuak Einsteinen azaro hartako beste eskutitz bat, non kontua ez zela eremu-ekuazioarentzat tentsore egokia kausitzea zioen, baizik horrela lortutako eremu-ekuazioek Poissonen ekuazioa orokortzen zutela ohartzea. Berriz altxatzen da hemen liburuaren xedearen parean Hilberten fisikari buruzko benetako ezagutzaren auzia.

1917-1918 tartean hainbat erreakzio izan ziren Hilberten teoriaren inguruan. Liburuak plagioa ere aztertzen du, hitz desegokitzen jotzen duen arren, Einsteinek Hilbertengandik zenbat edan zuen neurtzen ari denean. Eskutitz zaharren artean aztarrika, makina bat arrazoi zehatz ematen ditu Einsteinek Hilberten ekuazioez zuen ezagutzarik eza justifikatzeko. Hilbertek Göttingengo bere kideekin izan zituen eztabaidak ere xeheki agertzen dira 8. kapitulu honetan zehar, bai Leidenengo Willem de Sitter astronomoarekin Einsteinek izan zuen tirabira kosmologikoa, bai bi pentsalarion berezko bideei argi egiteko Max Bornek izkiriatu zizkien aholkuak; eta elektrodinamikaren oinarriari buruz Hilberti jarraiki Sommerfeldek eman zuen irakasgaia ere aipagai da. Aipatzekoak dira, baita ere, energiaren kontserbazio printzipioak betetzen zuen rolari buruz Klein eta Noetherrekin izandako eztabaidak, kapitulu honetan zehatz deskribatuak. Arian-arian, lan eskerga eginagatik, inoiz ez zuen Hilbertek GTR garatu zuenik esan. 1916az ondorengo hitzaldi eta ikastaro anitzetan, giza espirituak sekula eginiko aurkikuntza handientzat zuen teoria berretsiko zuten frogapekak taxutzen segitu zuen. Are garrantzitsuagoa dena, teoriaren jarraitzaile sutsu bilakaturik, gutxi bezala lagundu zuen teoriaren alderdi teknikoak eta ondorioen ikerketa akuilatzen; Göttingen teoriaren ikerketa-zentro nagusi bilakatzeko, alegia. Horren erakusgarri dira energiaren kontserbazioaz bertan izaniko debateak. Hilbertek bere lantokian sortutako giroari zor zitzaizkion GTRren inguruan egin ziren ekarpen on asko. Horixe nabarmendu nahi du liburuaren egileak aztergai dituen azken urte horietan.

Epilogotzat aurkezten duen azken kapituluan, fisika modernoarenganako Hilberten atxikimendua bere mundu zientifikoaren funtsezko alderdia zela argi utzi duelakoan amaitu nahi du liburuak. Hilberten fisikaren baitako jar-

dueren azpian zegoen batasun sakona nabarmentzea lortu du idazleak, eta lan matematikoagoekin jarduerok erakusten zuten harreman metodologiko eta substantibo sendoa. Aipatzekoa da bere programa axiomatikoak Minkowskiren elektrodinamikari buruzko lanean eta, beranduago, mekanika kuantikoaren oinarrietan eman zuen bulkada. Aitzitik, egin zuen dena kanpaiak jotzeko modukoa ezin izan, eta ez da egia Hilbertek geometriarentzat egin zuena 1915ean fisikarentzat ere egin zuela esatea: bere teoria ez zen fisikoki sontengaezina soilik, Hilberten beraren aztura eta demanda matematiko zorrotzetatik ere at zegoen. Izan ere, matematikaren baitan zerbaitegatik nabarmentzen bazen Hilberten lana algebran egin zuenagatik zen; horrexek zemaion-eta, adibidez, eremu algebraikoen hierarkiaren pean geometriaren funtsen osotasuna eta independentzia taxutzeko bidea.

Jite soziologikoago batean, fisikan egin zituen aurkikuntzak Göttingenen zeukan postuari eta estatus akademikoari, eta instituzio horrek zuen barnebizitasunari zor dizkio Hilbert zenak. Hor kokatzen ziren bere laguntzaile baliotsuak (Born, Sommerfeld, Carathéodory, Ehrenfestarrak, Von Neumann, Nordheim...; batzuen Hilbert fisikan eguneratzeko lanpostua zen), 1915ean, jada berrogeita hamar urterekin, bere sormen-mailaren gailurretik beherantz, Hilbertentzat ezinbestekoak izan zirenak, bai GTRren inguruko teoria garatzeko bai beranduxeago aritmetikaren oinarriak ikertzeko ere. Gazteenei dagokienez, adinean aurrera joanda ere, bere ikastaroetan irakatsitako ideiak eta han sortutako giroa Weyl bezalako fisikari argientzat zeharkatu gabeko ate eta akuilagarri sakon bihurtu ziren. Göttingeneko ikastaro mintegietan zegoen kultura matematikoaren «ahozkotasunak» ere izan zuen zerikusirik giro emankor hori sortzerakoan.

Epistemologikoki, Hilberten ideiek Einsteinek matematika/fisika harremana aintzat hartzeko moduan izan zuten eragina aipatu behar da. 1922tik aurrera, geroz eta garrantzi handiagoa eman zion Einsteinek (1954, 274 or.) formalismo matematikoari, «intuizio fisiko hutsaren» kaltetan. «Sormen-printzipioak matematikan» omen dautza. 1920az aurretik, haatik, horren kontrakoa uste zuen: ez zituen gustuko hurbilketa formalak, espekulazio puruak, ezta sofistikazio matematikoa ere. Ez omen zuten balio erreminta heuristiko legez. Horiek horrela, askoz beranduago azken mendeko fisikari behinenak aitortu zuenez, Minkowskiren eta Hilberten lana berearen gibelean zeuden, nola edo hala. Hilbert mistifikatu barik, haren lana fisikaren kanpokotzat eta hain aurrerakoitzat jotzen ez zuten fisikarien aipu batzuekin amaitzen da epilogo. Alta, argi lagatzen du ez daitekeela uler Hilbert beraren mundu matematikoa fisikaren eta matematikaren arteko harremanen bere ikuspegia kon-tuan hartu gabe.

Beste 70 orrialde gehiago ditu liburuak, sei eranskinekin (testuan aipaturiko jazoeren kronologia, ikastaroak, mintegiak, eskutitzak...), erreferentziekin eta indize aberats batekin. Norbere bilaketak egiteko gida-orri bikainak

dira horiek. Akaso, eta liburu zorrotz eta landu honi zerbait topatu beharko zaionez, kontzeptu filosofiko zenbait faltan bilatu ditut aurkibidean. Liburu ederra finean, zientziaren historialariak Israelen Euskal Herrian baino hobeki zaintzen dituztela frogatzen duen eskarmentuaz egina.

ERREFERENTZIAK

- MILLER, Arthur (1984), *Imaginery in Scientific Thought. Creating 20th-Century Physics*. Boston: Birkhäuser.
- EINSTEIN, Albert (1954), *Ideas and Opinions*. New York: Bonanza.
- PAULI, Wolfgang (1981), *Theory of Relativity*. New York: Dover.

Alain Ulazia
ILCLI