

Geologia 1-Fisika 0: Lur planetaren adina

(Geology 1-Physics 0: Earth planet's age)

Fernando Plazaola*

Elektrizitatea eta Elektronika Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea FCT/ZTF,
Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

LABURPENA: Artikulu honetan saiatuko naiz erakusten XX. mendeko, eta bereziki mendearen lehen erdiko, fisikaren nagusitasuna ez zela arlo guztietara heldu. Izan ere, izenburuak dioen bezala, Geologiak gol galanta sartu zion fisikari garai hartan. Hala ere, eta bigarren artikuluan batean azalduko denez («Geologia 1-Fisika 1» artikuluan hain zuzen), XX. mendearen laugarren laurdenean, fisikaren arrakasta edo eraginkortasuna hain handia ez zenean, fisikak partida berdintzea lortu zuen.

Beraz, artikuluhoni, «Geologia 1-Fisika 1» izenburua duen beste artikuluhatek jarraituko dio.

HITZ GAKOAK: Lurraren adina; datazio erradiometrikoa; Lord Kelvin; desintegratio-seriea.

ABSTRACT: *In this article I will try to show that XX. century, and especially the dominance of physics in the first half of the twentieth century, did not reach all areas. In fact, as the title suggests, Geology scored a great goal against Physics at that time. However, as will be explained in a second article (Geology 1-Physics 1), in the last quarter of the twentieth century, when the success or efficiency of physics was not so great, physics managed to tie the game.*

So this article will be followed by another article entitled «Geology 1-Physics 1».

KEYWORDS: *Earth's age; radiometric dating; Lord Kelvin; decay chains.*

* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Fernando Plazaola. Elektrizitate eta Elektronika Saila, Zientzia eta TeknologiaFakultatea, UPV/EHU Sarriena auzoa, z/g (48940 Leioa). – fernando.plazaola@ehu.eus – <https://orcid.org/0000-0002-0081-8131>

Nola aipatu / How to cite: Plazaola, Fernando (2022). «Geologia 1-Fisika 0: Lur planetaren adina». *Ekaia*, 42, 2022, 253-281. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.22983>).

Jasotze-data: 2021, uztailak 13; Onartze-data: 2022, urtarrilak 18.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2022 UPV/EHU



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-LanEratorririkGabe 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

1. SARRERA

Albert Einsteinek 5 artikulua argitaratu zituen 1905. urtean; *apurtzaileak* izan ziren! Horregatik, 1905 urteari «Albert Einsteinen urte miresgarria» deritzo. Horietako batean, [1] artikuluan hain zuzen, *Erlatibitate Bereziaren Teoria* garatzen du. Teoria horretan garaturiko ekuazioek oso kolokan jarri zituzten hain gureak diren hainbat kontzeptu, hala nola besteen artean, denboraren absolututasuna (hain barneratuta dugun denbora bat eta bakarra dagoela eta bi gertakizunen arteko denbora behatzaile guztiek berbera neurtzen dutela); aldiberekotasuna; espazioaren uzkurdura; abiaduraren muga maximoa edo unibertsa eta masaren eta energiaren baliokidetasuna ($E = mc^2$ ospetsua).

Erlatibitate Bereziaren Teoriaren plazaratzeak iraultza galanta eragin zuen, baina aipatu beharra dago garai hartan Lur planetaren adina zein zen inork ez zekiela. Izan ere, Lurraren adinari buruzko eztabaidan bide berriak urratzen hasiak ziren eta eztabaida sutsua zegoen.

Ernest Solvayren mezenasgoari esker, lehen hiru «*Solvay kongresuak*» egin ziren, 1911, 1913 eta 1921. urteetan. Lehenengoan erradiazioaren eta quantaren teoriari buruz aritu ziren, bigarrenean materiaren egiturari buruz eta hirugarrenean atomoei eta elektroiei buruz; baina oraindik inork ez zekien zein zen Lurraren adina.

Albert Einsteinek, 1915. urtean, *Erlatibitate Orokorren Teoria* argitaratu zuen. Teoria horrek ere iraultza itzela ekarri zuen. Horrek ere oso kolokan jarri zituen hain gureak diren beste hainbat kontzeptu, hala nola grabitate-indarraren kontzeptua; Newtonen ostean denak «ezagutzen» dugun distantziara eragiten duena, hots,

$$F = G \frac{Mm}{r^2}, \text{ grabitate-indarra}$$

Erlatibitate Orokorren Teoriaren arabera, grabitate-indarra ez da existitzen. «Baina, nola liteke? », galdetuko diozu zeure buruari, irakurle. Sagarrak, orain ere, zuhaitzetik zorura jausten dira!!! *Erlatibitate Orokorren Teoriak* esango dizu masek espazio-denboraren geometria aldatzen/kurbatzen dutela (kasu honetan, Lur planetaren masak) eta horren ondorioz sagarrak zuhaitzetatik zorura beti jausten direla, hots, *Erlatibitate Orokorren Teoriak* eskolan irakatsi diguten grabitate-indarra espazio-denboraren geometriarekin lotzen/baliokidetzen edo, hobeki, ordeztan du. Ordezpena ez da semantikoa; izan ere, *Erlatibitate Orokorren Teoriak* proposaturiko eremu-ekuazioak *Karl Schwarzschildek*, Lehen Mundu Gerrako Errusiako frontean zegoelarik, egoera ez-tribial batean ebatzi zituen. *Einsteini* bidali zion eskutitzean, 1915eko abenduaren 22an datatua, honela zioen «Ohartu zintezkeenez, tiro gogorak jasan arren, gudak nahiko adei-

tasunez tratatu nau, aukera eman baitit, guztitik aldenuz zure ideien esparruan ibilaldi bat eman ahal izateko». *Einsteinek* proposaturiko erlatibitate orokorraren ekuazioen lehen ebazpen zehatza eskutitzean ageri zen, eta ebazpen horrek zulo beltzei bide zuzena ematen zien. Hala ere, lan horrek ez zuen erakargarritasun handirik jaso, garai hartan inork ez baitzuen uste postulatzeko hain masa handiko objekturik existitzen zenik (gorputz/izar horretako ihes-abiadurak argiaren abiadura baino handiagoa izan behar baitzuen). Urte asko pasatu izan ziren haren ideia seriotasunez hartua izateko; izan ere, 1960ko hamarkadaren amaiera arte itxaron behar izan zen; *John Archibald Wheeler* zientzialariak 1967ean astro ilun posible horiek «zulo beltz» deitu zituen arte.

Karl Schwarzschild urtebete geroago hil zen, 1916an, armadan hartutako gaixotasun larri baten ondorioz, 42 urterekin.

Erlatibitate Orokorraren Teoriaren baieztapena *Arthur Stanley Eddingtonek* burutu zuen. 1919ko maiatzaren 29an gertatu zen eguzkiaren eklipse osoa aztertzerako, Afrikatik hurbil dagoen Principe uhartera bidaiatu zuen (ikus 1. irudia). Eklipse osoa gertatzen zen bitartean, eguzkiaren ondoko izarren argazkiak atera zituen. *Einsteinen Erlatibitate Orokorraren Teoriaren* arabera, eguzkitik hurbil agertu beharko liratekeen izarrek apur bat desplazatuak egon beharko lirateke. Euren argia eguzkiaren eremu grabitatorioak kurbatuko lituzkeelako. Efektu hori, garai hartan, eklipse batean ikus zitekeen soilik, eta behatu zutena bat zetorren *Einsteinen Erlatibitate Orokorraren Teoriarekin*. Baieztapen horrek *Einstein* mundu osoan ezaguna egin zuen (ikus 2. irudia); izan ere, sekula izan den zientzialaririk ezagunena bilakatu zuen.



1. irudia. *Arthur Stanley Eddington* zientzialariaren taldeak 1919ko maiatzaren 29an, Principe uhartetik atera zuen Eguzki-Eklipse Osoaren argazkia.



2. irudia. Times egunkariaren 1919-07-11 eguneko alea. Han irakur daiteke «Iraultza Zientzian» eta «Unibertsoaren Teoria Berria».

Harrigarria badirudi ere, kontatutako istorio hori guztia gertatu eta gero ere, oraindik inork ez zekien zein zen Lurraren adina. Inork ez zekien gu jasotzen gaituen Lur planeta noiz sortu zen.

Lurraren adinari buruz, ordura arteko iragarpen/aurreikuspen mami-tsuenak, fisikariek eginak, ez zetozen bat *Charles Darwin*ek proposatutako eboluzioaren teoriarekin. Izan ere, gure espezieraino (*Homo sapiens*eraino) eboluzionatzeko, denbora luzea pasatzea eskatzen du teoria horrek, eta, aldiz, goian aipaturiko ezagutzaren aurrerapen horiek guztiak gertatu zirenean, garai hartan proposaturiko Lurraren adinak ordurako oso errotua zegoen *Darwin*en teoria zalantzan jartzen zuen.

Goazen deskribatzera hasiera-hasieratik zein urrats jarraitu ziren gaur egun ezagutzen dugun Lurraren adina 4.500 milioi urte gutxi gorabehera dela ezagutu arte.

1.1. XX. mendera arteko Lurraren adinari buruzko eztabaida

1.1.1. *Biblian oinarrituriko kronologiak*

Bizi garen munduak hasiera bat izan zuela postulatu lehen erlijioa judu-kristaua izan zen. Beraz, kultura horiek jotzat hartu zuten hasiera baten ideia, kreazioaren ideia, eta ez betiko existentziarena, hots, existentzia eternalarena edo existentzia ziklikoarena (jatorri hinduko erlijioek dioten bezala, esate baterako).

Bibliak ez du adierazten zein den Lurraren adina, baina Irlandako elizaren *James Ussher* artzapezpikuak (1581-1656), 1650. urtean «*Annales Veteris Testamenti, a prima mundi origine deducti, una cum rerum Asiaticarum et Aegyptiacarum chronico, a temporis historici principio usque ad Maccabaicorum initia product*» tratatua idatzi zuen, eta han, Testamentu Zaharreko genealogiei jarraituz (ikus James Barr [2] eta 3. irudia), ondorioztatu zuen *Egutegi Julianoaren* Kristo Aurreko 4.004. urteko urriaren 23an (udazkeneko ekinokziotik hurbil) sortu zela mundua. *James Barrek Ussheren* lanean hiru periodo desberdin identifikatu baditu ere, azalpena errazteko asmoz lan honetan 5 periodo erabiltzen ditugu:

1. «*Aro modernotik Kristo jaio artekoa*». Periodo hau denok oso ondo ezagutzen dugu. Hala ere, kreazioa noiz izan zen era zehatzean ondorioztatzeko Kristo noiz jaio zen ondo jakin behar zen. *Ussheren* arabera Kristo, KA 5. urtean jaio zen. Kristoren jaiotza KA 5. urtean gertatu zela *Anno Dominiren* sortzaileak hartu zuen, *Dionysius Exiguusek*, errore bat egin zuela uste zelako. Izan ere, *Josephusen* arabera *Herodes* KA 4. urtean hil bazen, *Mateoren* ebanjelioa zuzena dela hartuz, urte hori baino geroago ezin zitekeen Kristo jaio.

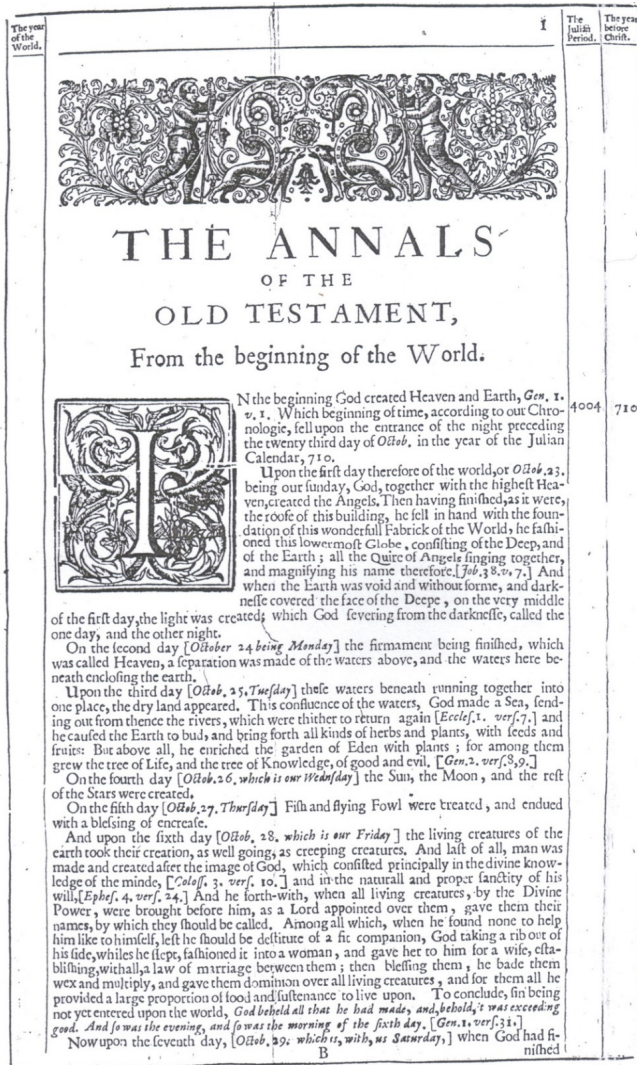
2. «*Kristoren jaiotzatik Babiloniako Amel Marduken erregetzaraino*». Kalkulu hori egiteko, *Amel Marduk* erregetzara noiz heldu zen jakiteko, babiloniarren, grekoen eta erromatarren iturriak erabili zituen. *Amel Marduk* KA 562n erregetzara heldu zela ondorioztatu zuen.

3. «*Babiloniako gatibutasunetik Salomonen tenpluaren aldiraino*». *James Barrek* dio periodo hau dela guztietatik kalkulatzeko zailena. Judearen erresumak bat bestearen segidan jarriz, 430 urte batzen dira, baina erresuma horien artean gainezarpenak ageri direla kontuan hartu zuen eta balio hori 424 urtera gutxitu zuen: KA 588tik KA 1012raino.

4. «*Salomonen tenpluaren alditik Abrahamen migrazioaraino*» tarte honetarako *Ussherrek* 910 urte kalkulatu zituen, KA 1012tik KA 1922raino.

5. «*Abrahamen migrazioetik Kreazioaraino*». *James Barrek* dio periodo honen luzera, *Genesis* 5 eta *11* liburuetan ageri diren leinu/familia desberdinen data kronologikoei jarraituz, ez dela zaila kalkulatzeko.

Ussheren periodo honen iraupenak 2082 urtekoa zela ondorioztatu zuen, KA 1922-KA 4004 tartekoa hain zuzen. Hots, gai izan zen ondorioztatzeko kreazioa KA 4004 urtean gertatu zela.



3. irudia. Testamentu zaharraren Genealogiak Munduaren hasieratik James Ussher artzapezpikuak 1650. urtean argitaraturiko «*Annales Veteris Testamenti, a prima mundi origine deducti, una cum rerum Asiaticarum et Aegyptiacarum chronico, a temporis historici principio usque ad Maccabaicorum initia producti*» liburuan.

Ussher ez zen kalkulua kreazioaren urteraino egitera mugatu, urte sa-soia (eztabaida handiak eman zituena bera bizi zen bitartean) eta eguna ere mugatu zituen. Izan ere, egutegi judutarra erabili zuen kreazioaren lehen eguna udazkeneko ekinokziotik hurbil zegoen igande batean gertatu zela ondorioztatzeko, *urriaren 23an* hain zuzen ere.

Ussherrek Kreaziorako garai hartan proposaturiko data nahiko hurbil dago Bibliako genealogietan oinarritutako proposamen gehienetatik. Adibidez, *Jose ben Halaftak KA 3761* urtea kreaziorako eta *Bedek KA 3952* emanikoak adierazgarri bi dira.

Egun dugun ezagutzatik begiratuta, kalkulu horiek inozokeriak iruditzen zaizkigu. Denboran atzera egin dezagun, eta jar gaitezen haien haragitan. Nondik gatoz? Nora goaz? Orain ere egiten ditugun galderak dira. Baina are sakonagoak ziren garai haietako kuriositate intelektual handiko pertsonetan, gaur dugun ezagutza baino askoz ere murriztagoa baitzuten. Beraz, saia gaitezen orduko pertsonak oraingo irizpideekin ez epaitzen. Izan ere, oso ondo ezagutzen ditugun garai haietako bi filosofo/zientzialari natural/fisikari, eta eskolan fisika ikastean inpresio ikaragarria guregan sortu zutenak, *Johannes Kepler* eta *Isaac Newton* hain zuzen, oso ongi ezagunak biak, mota honetako kalkuluak ere egin zituzten. *Johannes Keplerrek KA 3992an* kreazioa gertatu zela ondorioztatu zuen 1614an idatzitako «*De vero Anno, quo aeternus Dei Filius humanam naturam in Utero benedictae Virginis Mariae assumpsit*» artikuluan, eta *Sir Isaac Newtonek KA 4000n* gertatu zela dio 1728 urtean idatzitako «*The Chronology of Ancient Kingdoms Amended*» izenburuko artikuluan.

1.1.2. *Naturalistak*

Beraz, XVII-XVIII. mendeetako kronologiek, Biblian oinarritutako meto-dotan garatuak, Lurraren adina 6.000 urte inguruan jartzen zuten. Gainera, aipatu beharra dago tradizio judu-kristauek Lurra eta unibertsoa gertaera bakar batean sortu zirela hartzen zutela.

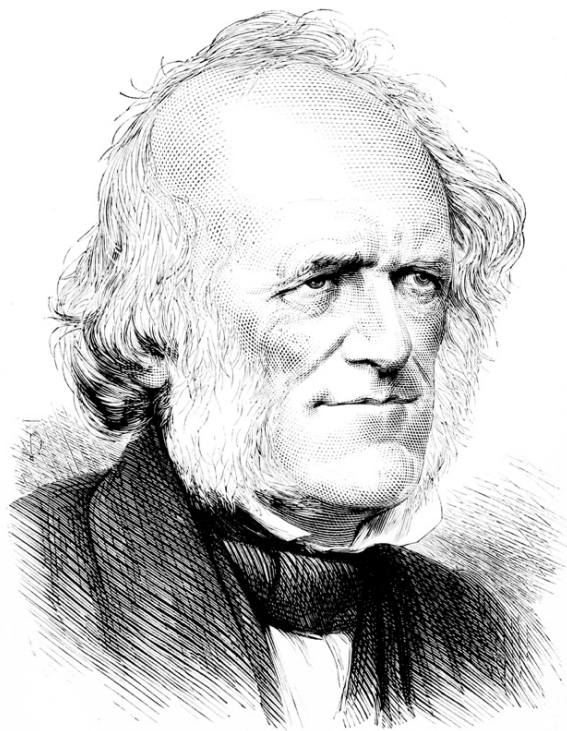
XVIII. mendearen erdi aldera *Mikhail Lomonosov* (1711-1765) zientzialaria lehena izan zen Lurra bere kasa sortu zela aditzera eman zuena. Hau da, Lurra Unibertsoaren beste zatiekiko independente sortu zela, eta bata bestea baino ehunka milaka urte lehenago [3]. 1779 urtean *Buffoneko Kontea* esperimentu baten bidez Lurraren adina neurtzen saiatu zen. Berak sinesten zuen Lurra hasierako egoera bero batetik apurka-apurka hozten egon zela eta, horregatik, Lurraren antzeko konposizioa zuen globo txiki bat egin zuen eta globoaren hozte-abiadura neurtu zuen. Hemendik estimatu/zenbatesi zuen Lurraren adinak 75.000 urte inguru izan behar zituela.

Lomonosov eta *Buffon* izan ziren XVIII. mendean Lurraren adina era zorrotz batean zenbatesten saiatu ziren bakarrak. Gainerako naturalista gehie-

nak, berriz, ez ziren arduratzen Lurraren adinari buruz. Izan ere, zioten denbora oso luzea pasatu zela oraingo egoerara heltzeko. Azken ikuspegi hau oso ondo adierazita ageri da *James Hutton*ek 1795ean argitaraturiko «*Theory of the Earth*» liburu klasikoan [4]: «Ez dugu hasiera baten lekukorik aurkitzen, eta amaiera baten arrastorik ere ez». Izan ere, liburu hau hurrengo artikuluan aipatuko dugun *Uniformitarismo Teoriaren* oinarria izan zen.

Periodo geologikoen kronologiek *Hutton*en garaikideak kezkatzen zituen. Hainbatetan arrokek ezagutzen ez ziren organismoen fosilak zituzten. Horrela, batzuek interpretatu zuten arroketan geruzaz geruza ageri ziren organismoen aldaketak organismoen garapena adierazten zutela. 1790 urtean, *William Smith* naturalistak, aipaturiko fosilak kontuan hartuz, honako hipotesi hau plazaratu zuen: *Oso kokapen desberdineko bi arroka-geruzek antzeko fosilak edukiz gero, onargarria da esatea arroka-geruza biak adin berekoak/antzekoak direla*. Ideia hauetan oinarrituta, periodo geologikoen denbora-tartea zenbatesteko naturalistak estrapolazioak egiten hasi ziren. Zoritxarrez, egiten zituzten zenbatespenak naturalista bakoitzaren arabekoak ziren, euren artean oso desberdinak, geruzak osatzeko behar den denboraren inguruko asmakizun gordinak besterik ezin baitzituzten egin. *William Smith*en ilobak, *John Phillip*sek, bere osabaren hipotesiari jarraituz, Lurraren adina 96 milioi urtekoa izan behar zuela ondorioztatu zuen. Biblian oinarritutako kalkuluek baino adin askoz luzeagoa proposatu zuen. Beste naturalista batzuek aipatu berri diren hipotesiak erabili zituzten Lurraren historia eraikitzeko, nahiz eta ez jakin geruza estratigrafikoen finkatzeak zenbat denbora behar zuten.

1830-33 urteen artean *Charles Lyell* (1797-1875) geologoak (ikus 4. irudia) «*Principles of Geology*» liburuaren 3 bolumenak argitaratu zituen [5] eta aipaturiko lanei indar teoriko galanta eman zien. *Lyellek* behin eta berriro zioen bai arroken osatzea eta bai beste ezaugarri geologikoena, higatzearen eta erreformatzearen eraginez, aldaketa-abiadura konstante batez denboran barrena gertatzen zirela. Naturalistek ez zituzten erabili *Lyellek* plazaraturiko nozioak Lurraren ezaugarrien adina kalkulatzeko, prozesu geologikoei buruz zegoen data oso urria baitzen. Hainbat naturalista konbentzitu zituen *Lyellek*, *uniformitarismora* bihur zitezten. *Uniformitaristek* arin osatzen ari zen Lur planeta gazte bat existitu zela ez zuten onartzen, ez eta ere katastrofe geologikoen ondorioz aldaketa bortitzik sortu zenik ere. *Lyellen* arabera, arroketatik eta hezur fosiletatik atera daitekeen informazioak dio periodo geologiko bakoitzak, beharbada, ehunka milioi urte iraun duela. *Lyellek* aditzera eman zuen Lurraren adinak balio horien biderkaketa beharko lukeela izan.



4. irudia. Charles Lyell geologoa (1797-1875).

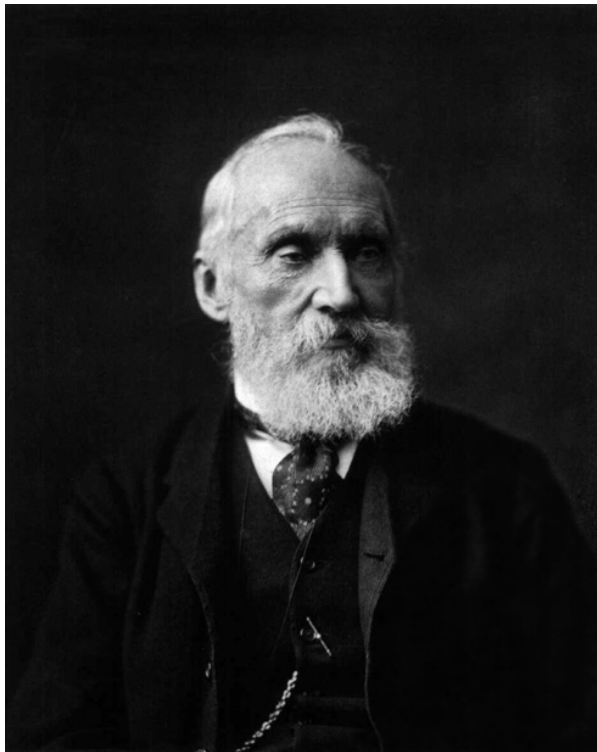
1.1.3. Fisikariak lanean

Glasgowko *William Thomson* (1824-1907) fisikariak (ikus 5. irudia), geroago *Lord Kelvin* izendatuko zutena, Lurraren adina 1862an kalkulatu zuen, eta 20 eta 400 milioi urte artekoa zela ondorioztatu zuen. Naturalistak zur eta lur utzi zituen!

Thomson uniformitarismoaren erabat aurkakoa zen. Horrek zioenari oso gertaezina irizten zion, eta horrela erantzun zien uniformitaristei: «Lur planeta hau, milioika urte lehenago, globo gorri beroa zen...». Berak eta orduko beste hainbat fisikarik Lurra hasiera batean urturik zegoela uste zuten; ondoren azala hoztu eta solidotu egin zela, baina barneko nukleoak bero irauten zuela. Zenbat eta gehiago sartu Lurraren barnean, orduan eta tenperatura handiagoa.

Lurraren adina kalkulatzeko *Thomson*ek Lurra hartu zuen, sorreran, tenperatura homogenoa zuen esfera erabat urtua edo funditua bezala, eta orduz geroztik azaletik hozten ari dena, beroa eroankortasun termikoaren

bidez garraiatzen zelarik. Haren burutapenak zioen, denbora pasatu ahala, Lurraren azalaren gradiente termikoa gutxituz joango zela, eta gradiente horren datu esperimentalak erabiliz, Lurraren adina lor zitekeela. Hau da, hasiera bero horretatik gaurko eguneko egoerara iritsi arte hozte-prozesu horretan zenbat denbora pasatu den kalkulatu zuen. Lurrak duen berotasun guztia, Eguzkiaren ekarpen txiki bat salbu, Lurra osatzean gertaturiko grabitate-kontrakzioaren/uzkurduraren ondorio zela susmatu zuen. Gero, ikertu zuen Lurrak beroa zein ondo garraiatzen duen eta zenbat bero behar den Lurra urtzeko edo bere tenperatura kopuru batean altxatzeko. Ziur zegoen Lurra apurka-apurka era uniformean hoztu zela, energia espazioko huts hotzera erradiatuz, termodinamikaren bigarren legeak dioenari jarraituz. *Jean Baptiste Joseph Fourier*ren bero-eroankortasunaren teoria erabiliz, Lurraren tenperatura-banaketa eboluzioa aurrean zuen. Egindako kalkuluak Eguzkitik jasotzen den beroa eta marea-marruskaduraren eraginak lortuz baieztatu zituen.



5. irudia. *William Thomson* fisikaria (1824-1907). Ingalaterran Lord izendatu zuten lehen zientzialaria. Izan ere, 1892 urtean Kelvin izenarekin Lord izendatua izan zen.

Zenbatetsitako tartea hain zabala da (20-400 milioi urte), segidan aipatutako parametroetan ziurgabetasun asko eta ezberdinak zituelako:

1. Arrokaen urte-tenperatura ez zuen ezagutzen. Lurraren barneko tenperaturari balio bat eta bakarra esleitu zion.
2. Arrokaen eroankortasun termikoak.
3. Arrokaen bero ahalmen espezifikokoak.

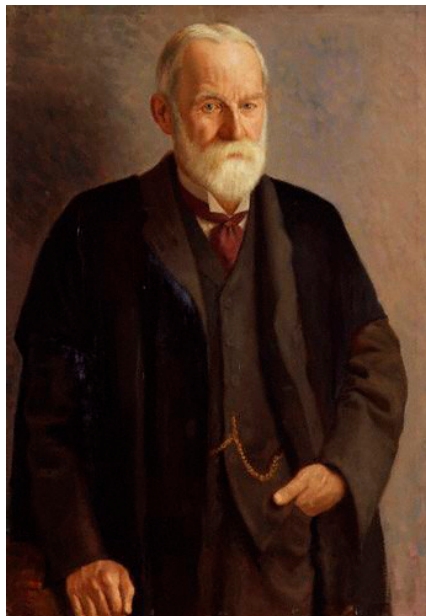
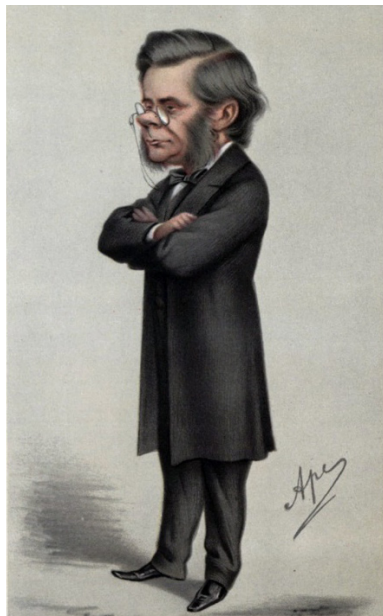
Kalkulu horretan ez zuen kontuan hartu Lurraren barneko konbekzioa (haren aburuz Lurraren barnean konbekzioa bideratu dezakeen likidorik ez dago). Beroaren konbekzio termikoak Lurraren goi mantuaren tenperatura altuago bat denbora luzeagoan mantentzea onartzen du, eta lurrazaleko gradiente termiko handi batek luzeago irauten du.

Thomsonen lanak geologoak larritu zituen, oso eroso baitzeuden muga gabeko denboraren ideiarekin. Ez zitzaien batere gustatu fisikari bat, ospe handikoa izan arren, berea ez zen ikerketa esparru batean sartzea (hau ez da orduan bakarrik gertatu, oso zabaldua dago. Orain ere gertatzen da ikerkuntzaren esparruan, eta beste hainbat arlotan ere. «*Geologia 1-Fisika 1*» hurrengo artikuluan gauza bera agertuko zaigu, eta han, «*migrantearen efektua*» deituko diogu), baina aurka egiteko argumenturik ez zuten. *Thomsonek* estatu kolpe bat eragin zuen: metodo kuantitatiboen mesedetan, geokronologia kualitatiboa birrindu zuen. *Thomsonen* zenbatespena Lurraren adinari buruzko estandarra bilakatu zen mendearen amaiera arte; plazaratzen ziren beste emaitza guztiak zenbatespen hauekin alderatzen ziren.

Thomsonen kalkuluek geologoak bezainbeste edo gehiago biologoak asaldatu zituen. *Charles Darwin*ek (1809-1882) «*On the origin of species*» liburu famatua 1859 urtean argitaratu zuen [6], eta plazaraturiko teoriak dio ezagutzen dugun dibertsitate biologikoa lortzeko hautaketa natural geldoa behar dela. *Darwin*ek *Thomson* «*odious espektra*»-tzat hartzen zuen. *Darwin*ek eta beste biologo batzuek postulatu zuten organismo konplexuek 40 milioi urte baino gehiago beharko luketela garatzeko. Baina, ez organismo biziek, ez eta fosilek ere, ez zuten oinarririk ematen kalkulu independente bat egiteko, kalendario biologikoa geologian oinarritzen baitzen.

*Thomson*ek lorturiko emaitzak *Darwin*en jarraitzaile sutsuenak bere kontra jarri zituen; *John Tyndall* eta *Thomas H. Huxley* (ikus 6. irudia) zientzialariak bereziki. Azken horrek, 1869an Londoneko «*Geological Society*» elkarteko presidentetza-hitzaldian argudiatu zuen geologo moderno bat ez zela gehiago uniformitarismo absolutu batean tematuko, baina uniformitarismoaren printzipioak aplikatu zitezkeela. Hori esan ostean, haren erretorika *Thomson*en aurka jarri zen. Honako hau onartu zuen: «Ondorioen gaitetik, guztiz onartezina den agintaritzaren itxura ematen duten prozesu matematikoen zehaztasuna ez da baimendu behar, formulen orrialdeek ez baitute datu solteetatik emaitza zehatzik lortzeko aukerarik». Beharbada,

Huxleyk, Lurretik erradiatutako beroa, *Thomsonek* uste izan zuena baino motelago gerta zitekeela aditzera eman zuen. Eta bere baitan kalkuluak onak ziruditelat, baina hipotesi okerretan oinarritzen zirela.



6. irudia. Ezkerrean *Thomas Henry Huxley* geologoaren (1825-1895) karikatura, *Carlo Pellegrinik* irudikatua. Eskuinean *George Howard Darwin* astronomoa (1845-1912).

Emaitzak plazaratu ostean *Thomson* ez zen eztabaida horretan ibili zen bakararra. *Hermann von Helmholtz* (1821-1894) mediku eta fisikari alemaniarak 1856 urtean eta *Simon Newcomb* (1835-1909) astronomo kanadiarrak 1892 urtean, 22 milioi urte eta 18 milioi urte kalkulatu zituzten, hurrenez hurren. Bi hauek, era independentean kalkulatu zuten zenbat denbora beharko lukeen *hauts-nebulosa* batek grabitazioaren eraginez Eguzkiak gaur egun duen diametroa eta igortzen duen argitasunera kondentsatzeko.

Charles Darwinen semea ere, *George H. Darwin* (1845-1912), Cambridge unibertsitateko astronomia irakasle berau (ikus 6. irudia), eztabaidan sartu zen. Honako hau proposatu zuen:

1. Ilargia, oso arin biratzen ari zen Lur urtu batetik, «askatu» egin zela.
2. Ostean Lurraren biratze-abiadura moteldu egin zela marea-marruskaduren eraginez.

3. Kalkulatu/zenbatetsi zuen zenbat denbora behar zen Lurraren gaur egungo 24 orduko errotazio-periodora moteltzeko, hau da, gaur egun dugun 24 orduko eguna edukitzeko.

Oinarri horiek kontuan hartuz, Lur planetaren adina kalkulatu zuen, eta lortu zuen balioa 56 milioi urtekoa izan zen. *Thomsonen* zenbatespenekin bat egiten zuen.

Geologo batzuek ere bat egin zuten *Thomsonen* zenbatespenekin; hala nola, lehen aipatu dugun *William Smithen* ilobak, *John Phillipsek*, bere osabaren hipotesiari jarraituz, Lurraren adina 96 milioi urtekoa izan behar zuela ondorioztatu zuen. *Archibald Geiki*ek ere, Eskoziako «Geological Survey»ko zuzendariak, higaduraren ebidentziak aztertu zituen eta ondorioztatu zuen Lurra ez zela 100 milioi urte baino zaharragoa.

1899 urtean Dublin unibertsitateko *John Jolyk* (1857-1933) Lurraren adina neurtzeko teknika geologiko berri bat plazaratu zuen. Ozeanoetako gatz gutzia higaduren eraginez disolbatutako depositu mineraletatik zetorrela proposatu zuen. Halaber, ozeanoetako gatz-kontzentrazioa ezin zitekeela gutxitu proposatu zuen. Beraz, *Jolyk* gazitasuna Lurraren adinarekin lotu zuen. Kalkuluetarako, honako urrats hauek jarraitu zituen:

- i) Kalkuluetarako Ozeanoetara urtero heltzen zen ur-kopurua eta bolumen unitateko gatz-kopurua beharrezkoak zituen. Garai hartan lor zitezkeen balio onenak erabili zituen.
- ii) Ostean, ozeanoen gatz-kopurua zenbat handitzen zen urtero lortu zuen.
- iii) Ozeanoaren gazitasuna ozeanoen bolumen osoaz biderkatu zuen.
- iv) Biderkadura hori urteroko handipenaz zatitu zuen.

Era horretan, gaur egun ezagutzen ditugun ozeanoak garatzeko 80-90 milioi urte behar izan zituela kalkulatu zuen *Jolyk*.

Gutxi gora behera garai berean geologo kopuru gero eta zabalago batek irentsi zuen Lurraren adina 100 milioi baino gutxiagokoa zela. Hala ere, bazeuden kritikoak ere, eta honako zalantza hauek aipatzen zituzten:

- a) Lurraren edo Eguzkiaren beroa azaltzeko uzkurdura grabitatorioa bakarrik erabiltzen zela. Ezagutzen ez zen beste energia mota posible bat egun zitekeela.
- b) Batzuek zioten Lurra ez zela sekula urtu.
- c) Beste batzuek, ordea, aditzera ematen zuten Lurraren barnea oraindik urturik zegoela. Barne-likido batek berotasuna konbekzioz garraituko zukeen (*Thomsonek* hau ez zuen kontuan hartu, eta ez zuen onartzen). *John Perry* fisikariak, *Thomsonen* laguntzaile ohiak, *Nature* aldizkarian artikulu bat argitaratu zuen 1895 urtean [7], non ai-

patzen baitzuen *Thomson*ek erabili zuen Lurraren barneko eroan-kortasun termikoa txikiegia zela, handiagoa beharko zukeela. Izan ere, Lurraren barnean jariakina beharko zukeela zioen (*Lord Kelvin*, arrazoi desberdinengatik, hipotesi honen aurka zegoen). Hipotesi horren pean, Lurraren adin askoz zaharragoa lortu zuen, 96×10^8 urte = 9.600 milioi urte!!! Baina, argitarapen honek berehalako inpaktu oso txikia izan zuen, *Thomson*en emaitzekin bat ez zetorrelako eta, halaber, Lurraren jariakinaren existentzia ez zuelako *Thomson*ek onartzen.

- d) Beste batzuk kritiko ziren higadura-, sedimentazio- eta gazitasun-kalkuluetan erabilitako dataren balioekin.

Hala ere, *Thomson*ekin adiskidetu gabeko diferentzia asko eduki arren, garaiko zientzialarien artean ospe handiena zuena izanik, XIX. mendea bukatzeaz zegoenean geologo gehienek Lurraren adina 100 milioi urte ingurukoa zela onartzen zuten. Izan ere, zientzian zuen ospeagatik, bereziki termodinamika esparruko lorpenei esker, «*Lord*» izendatu zuten lehen zientzialari britainiarra izan zen. *Lord* izendapena 1892 urtean gertatu zen, Lurraren adinaren eztabaida pil-pilean zegoenean. Beraz, Lurraren adinaren haren estimazioa oso errespetatua izan zen, eta *Darwin*en teoriaren aurkako oztopo handiena bilakatu zen. Aipatu beharra dago *Thomson*ek (dagoeneko *Lor Kelvin* izendapenarekin), 1897 urtean zenbatespen berriak egin zituela. Balioak errefinatu ostean, adin-tartearen aurreko balioa 10 faktore batez gutxitu zuen, eta Lurraren adinaren zenbatespen berria 20-40 milioi urtean geratu zen [8]. Hots, ebidentzia geologiko/biologiko guztiak kontuan hartu gabe, *Thomson*ek eskala geologiko are laburragoak aditzera eman zituen.

Beraz, XIX. mende amaieraren ezagutzak zioen Lurraren adina 100 milioi urte ingurukoa zela, eta *Lord Kelvin*en mende amaierako zenbatespen arabera are laburragoa, 20-40 milioi urte tartekoa. *Lord Kelvin*en ospea zela eta, bat egiten ez zuten zenbatespenak baztertuak ziren. Hau ez da historian gertatu den kasu bakarra, hainbatetan ospeak itzal ikaragarria egin dio zuzentasunari (elektroiaren karga lortzeko *Millikan*en esperimentuaren balioa beste adibide bat da). Lurraren adinaren kasuan ere, era zabal batean onarturiko *Lord Kelvin*en emaitzak oso zalantzan jartzen zuen *Darwin*en teoria, edo hobeto esanda, ez zen bateragarria *Darwin*en teoriarekin.

Ikusi dugun bezala, fisikariak izan ziren Lurraren adina era kuantitati-boan lortzen hasi zirenak. Era oso desberdinak erabili zituzten, jatorri desberdinetatik abiatutakoak, irudimen handikoak, eta euren eraginagatik naturalistek ere bide berdinerantz jo zuten.

Artikulu honen bigarren atalean istorio honi amaiera emango diogu, eta han ikusiko dugu XX. mendearen hasieran gauzak erabat aldatu zirela. Erra-

dioaktibitatearen aurkikuntzak gauzak erabat irauli zituen, ezaguna ez zen energia mota berri bat plazaratu baitzen. Geologoek lortu zuten, fisikariaren nagusitasuna hasiera batean garrantzitsua izan arren, 20ko hamarkadaren amaieran gaur egun ezagutzen dugun Lurraren adina.

2. XX. MENDEA

2.1. Erradioaktibitatearen aurkikuntza

Aurrera segitu aurretik, komeni da aipatzea XIX. mendean aurkitu dugun «*enfant terrible*»ak, *William Thomson Lord Kelvin* zientzialari britaniarrak, 1900 urtean aurkezpen oso interesgarria eta aipatua eman zuela «Royal Institution» erakundearen: «XIX. mendearen orbanak Beroaren eta Argiaren Teoria Dinamikoan» [9]. Han aipatzen diren «orban ilun» bi horiek XIX. mende amaieran zegoen iluntasunarekin lotuta daude, hots:

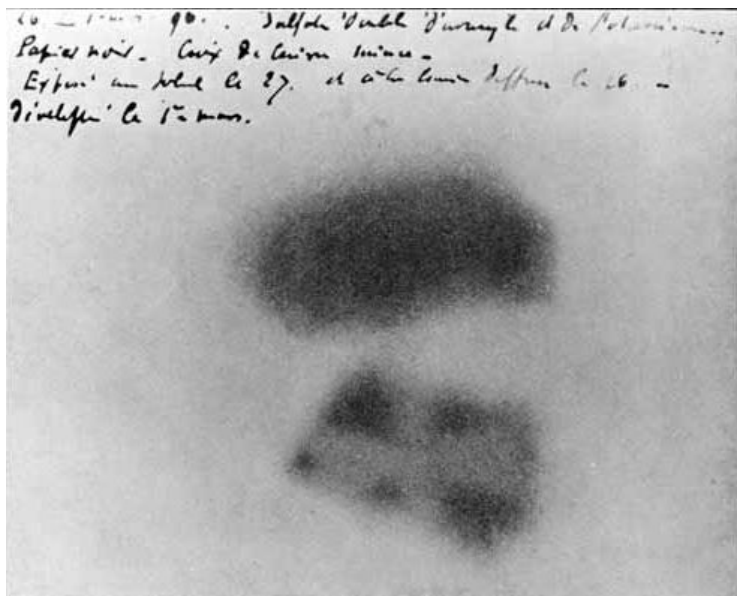
1. Materia eterrean zehar nola higitzen da? (aurkezpenean Michelson eta Morleyren esperimintuen emaitza itxaron gabeak ere aipatzen ditu).
2. Mekanika estatistikoaren ekipartizioaren legea apurtzeko kezka.

Izan ere, XX. mendeko bi teoria nagusiak, erlatibitatearen teoria eta mekanika kuantikoa hain zuzen, «orban ilun» horiek argitzeko asmoarekin abiatu ziren. Teoria horiei esker, fisikak oparotasun itzela bizi izan zuen XX. mendean. Kontzeptu berriak, teoria berriak aurkitu ziren, intuizioarekin bat egiten ez dutenak.

Lurraren adinari buruzko eztabaidan ere, era zabal batean onarturiko *Lord Kelvin* zientzialari ospetsuaren emaitzek garai hartan oso zalantzan jarri zuten *Darwinen* teoria.

XX. mendea heltzear zegoenean, 1896 urtean, *Henri Becquerel*ek, uranio-gatzen fluoreszentzia-propietatea ikertzen ari zelarik, materiaren propietate berri bat aurkitu zuen. Izan ere, argazki plaka baten gainean gela ilun batean uranio-gatzak jarri zituenean, argazki-plaka belztu egiten zela jabetu zen (ikus 7. irudia). Geroago, aurkezturiko propietate berri horri *Berezko Erradioaktibitatea* deitu zitzaion.

Marie Curiek (*Maria Skłodowska*, ezkondu aurretik) eta *Pierre Curiek* Polonio eta Radio elementu kimikoen erradioaktibitatea 1898 urtean aurkitu zuten; eta 1903 urtean, *Pierre Curie* eta *Albert Laborde* zientzialariak jabetu ziren, eta iragarri zuten, Radio elementu kimikoak ordubete baino denbora gutxiagoan bere pisu-izotz urtzeko adina bero sortzen duela. Interes handia piztu zen itxuraz agortezina izan zitekeen energia horren inguruan. Zerk sortzen du energia hori?



7. irudia. Henri Becquerelek egindako argazki-plakak erradioaktibitatearen eragina erakusten du. Oso argi ikusten da plakaren eta uranio-gatzaren artean kokatutako «Maltako Gurutzearen» itzala.

Ernest Rutherford eta *Howard Barries* zientzialariek aurkitu zuten jatorria. Ohartu ziren sortutako beroa erradiatutako alfa partikula kopuruaren proportzionala zela.

Gogora ezazu, irakurle, aurreko sekzioko hipotesi gehienek, *Lord Kelvin*enak barne, honako hau ontzat hartzen zutela:

Lurraren beroa Eguzkitik edo Lurraren jatorriko urtutako egoeratik dator.

Bi kasu hauetan, uzkurdua grabitatorioa zen energia-iturri bakarra, eta hasierako Lurraren eta Eguzkiaren jatorriko beroa apurka-apurka espazioan iraungiz, motelduz, edo hoztuz doa. Horrek esan nahi du XIX. mendeko hipotesiek desintegrazio erradioaktiboaren ondorioz beroa etengabe berritu zitekeela ez zutela kontuan hartzen, ez baitzen ezaguna.

Aurretik aipaturiko *George Darwin* eta *John Joly* zientzialariak izan ziren, 1903 urtean, horretaz jabetu ziren lehenak. Beraz, erradioaktibitatearen aurkikuntzak ordura arte ezezaguna zen beste faktore berri bat sartu zuen ekuazioan, eta, beraz, *Lord Kelvin*en Lurraren adinari buruzko ondorioak zalantzan geratu ziren.



8. irudia. Ezkerrean *Ernest Rutherford* fisikari zeelandaberritarra (1871-1937), Kimikako Nobel Sariduna 1911 urtean. Eskuman *Frederick Soddy* zientzialari ingelesa (1877-1956), Kimikako Nobel Sariduna 1921 urtean.

Urte desberdinetan Kimikako Nobel saridunak bilakatuko ziren *Ernest Rutherford* zientzialari zeelandaberritarra eta *Frederick Soddy* ingelesa (ikus 8. irudia), Kanadako Montreal hiriko McGill unibertsitatean elkarrekin lanean aritu ziren 1900 eta 1903 urteen bitartean. Ondorio garrantzitsu bat lortu zuten: «erradioaktibitatea elementu atomikoen *berezko transmutazioaren* ondorio da». Desintegrazio erradioaktiboan, elementu kimiko bat, «desintegratzean», beste arinago bat bilakatzen da, prozesuan *alfa*, eta/edo *beta* eta/edo *gamma* erradiazioa igorritik. Aurkikuntza horrek kimikarien artean ezinegon handia sortu zuen, garaiko zientzia materiaren apur-ezintasunaren printzipioan oinarrituta baitzegoen. Beraz, aurkikuntza bera, garai hartan, ezagutzaren iraultza ikaragarria zen, berezko desintegrazio-prozesua alkimia baitzen!

Beste aurkikuntza batzuk ere egin zituzten, hala nola, elementu erradioaktiboak ez zirela arintasun berdinarekin desintegratzen/transmutatzen. Izan ere, elementu erradioaktibo baten isotopo konkretu bakoitzak desintegrazio-abiadura berariazkoa du, isotopo bera osorik identifikatzen duena (isotopoak beranduago aurkitu ziren, 1913 urtean, aurrerago ikusiko den bezala). Gainera, elementu erradioaktibo batzuk, beste elementu kimiko arinago batean, oso arin desintegratzen dira, eta beste batzuk, berriz,

oso-oso astiro (ikus segidan elementu kimikoak adierazteko era ezberdianak). Desintegrazio-abiadura hori «*erdibizitza*» baten bidez ematen da. Era zehatz batean definituz, material erradioaktiboaren atomo-kopurua desintegrazioaren bidez erdira gutxitzeko pasa behar den denbora-tartea, isotopo erradioaktibo horren *erdibizitza* da. *Erdibizitzak* oso-oso luzeak izan daitezke, milaka milioi urtekoak, edo oso-oso laburrak, segundo baten milioirenak. Isotopo erradioaktibo bakoitzak berea den eta berau ezaugarritzen duen erdibizitza du.

A_ZX elementu kimikoak, nukleoan Z protoi eta $A-Z = N$ neutroi ditu.

Adibidez Hidrogenoaren kasuan, ^1_1H : nukleoan 1 protoi eta $1-1 = 0$ neutroi daude

$^{238}_{92}\text{U}$, Uranio isotopoa: nukleoan 92 protoi eta $238-92 = 146$ neutroi daude

$^{235}_{92}\text{U}$, Uranio isotopoa: nukleoan 92 protoi eta $235-92 = 143$ neutroi daude

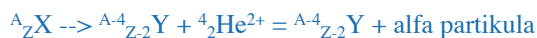
Nukleoaren protoi-kopurua Z zenbaki atomikoaz adierazten da, eta elementu kimikoa Z balioaren bidez edo X ikurraren bidez adieraz daitezke; izan ere, bata zein bestea gauza bera adierazteko bi bide dira.

A_ZX eta B_ZX elementu kimikoak, X elementu kimikoaren bi isotopo dira, biek nukleoan Z protoi dituzte, baina lehenak $A-Z$ neutroi eta bigarrenak $B-Z$.

$^{238}_{92}\text{U}$ eta $^{235}_{92}\text{U}$, Uranio elementu kimikoaren 2 isotopo dira, lehenak 146 neutroi eta 92 protoi ditu nukleoan, bigarrenak, berriz, 143 neutroi eta 92 protoi.

Uranio eta Torio elementu kimikoek erdibizitza oso luzeak dituzte, eta horregatik, oraindik ere, Lurraren azalean ageri dira (izan ere, gero ikusiko dugun bezala, euren desintegrazioaren *erdibizitza* Lurraren adina baino luzeagoa da). Erdibizitza laburreko elementu erradioaktiboak, berriz, oro har, dagoeneko lurrazaletik desagertu dira. Horrek aditzera ekarri zuen Lurraren adina neurtzea posible izan zitekeela material erradioaktiboen ehuneko erlatiboak lagin geologikoetan determinatuz. Elementu erradioaktiboak ez dira, orohar, elementu «egonkorretara» (erradioaktiboak ez diren elementuetara) zuzenean desintegratzen. Ohikoena da beste elementu erradioaktibo batera desintegratzea, eta desintegrazio-produktu sortu berri horri dagokion erdibizitzarekin beste batean..., eta horrela, bata bestearen segidan, desintegrazio-segida horien ostean elementu egonkor bat etorri arte. Desintegrazio-segida horiek (desintegrazio-serieak deituak) erradioaktibitate aurkitu eta urte gutxi barrura ezagutu ziren, adibidez Uranio-Radio eta Uranio-Torio serieak, eta bidea eman zuten *datazio erradioaktiboaren edo erradiometrikoaren* oinarriak eraikitzeko. Hau da, arroken adina neurtzeko aukera eman zezaketen.

----**Alfa desintegrazio-bidea**----



Alfa desintegrazio-bidean, isotopo erradioaktibo gurasoa, berak nukleoan dituen baino 2 protoi gutxiago ($Z-2$) eta bi neutroi gutxiagoko [$N = A-4-(Z-2) = (A-Z)-2$] kumean desintegratzen da. Bide horretan alfa partikula bat (bi aldiz ionizaturiko Helio ioia) igortzen da.

----**Beta desintegrazio-bidea**----



Beta negatibo desintegrazio-bidean, isotopo erradioaktibo gurasoa, berak nukleoan dituenak baino protoi bat gehiago ($Z+1$) eta neutroi bat gutxiagoko [$N = A-(Z+1) = (A-Z)-1$] kumean desintegratzen da. Bide horretan beta partikula bat (elektroia) igortzen da. Gurasoaren eta kumearen A (neutroien gehi protoien kopurua), zenbaki masikoa deitua, bera da.

2.2. Datazio Erradioaktiboa (datazio erradiometrikoa ere deitua)

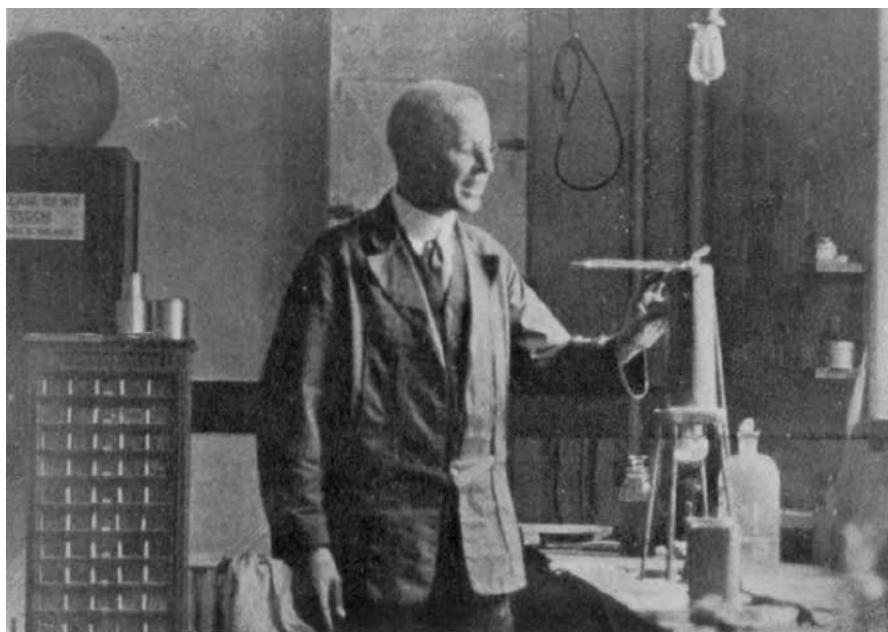
Datazio erradioaktiboaren aitzindariak *Bertram B. Boltwood* kimikaria (ikus 9. irudia) eta *Ernest Rutherford* izan ziren. Datazio erradioaktiboaren lehen urratsa 1904 urtean *Rutherfordek* eman zuen, aditzera eman zuenean desintegrazio erradioaktiboetan askaturiko alfa partikulak arroketan harrapa daitezkeela, Helio-atomo moduan. Garai horretan *Rutherford*, alfa partikulen eta Helio atomoen arteko erlazioa arakutzen ari zen. Izan ere, 4 urte geroago, 1908 urtean, Kimikako Nobel Saria eman zioten urtean, alfa partikulak Helio-nukleoak direla frogatu zuen. Era zehatzago batean esanda, alfa erradiazioaren ostean Helio asko agertzen zela aurkitu zuen.

Aipatzekoa da *Rutherfordi* ez zitziola «gustatu» Kimikako Nobel Saria jasotzea, bera oso fisikaria sentitzen baitzen. Izan ere, Kimikako Nobel Sariaren berri jaso zuenean «*Zientzia, Fisika da, bestela Filatelia!*» esan omen zuen. Nukleo atomikoaren aurkikuntzarako beste 3 urte itxaron behar izan ziren. Izan ere, *Rutherfordek* zientziari egin zion ekarpenik handiena, eta handiena ez bada handienetakoa, nukleo atomikoaren aurkikuntza izan zen, 1911 urtean hain zuzen.

Soddyk eta Sir *William Ramsay* (1852-1916) kimikari britainiarrek Radio elementu kimikoaren alfa partikulen desintegratze-abiadura lortu berri zuten, eta *Rutherfordek* proposatu zuen arroka baten adina Helio elementuaren kontzentrazioa neurtuz determinatu zitekeela. Era horretan, etxean zuen harri batek 40 milioi urte zituela datatu zuen. Emaitza horrek eta azken urte horietako erradioaktibitateari lotutako aurkikuntzak, *Lord Kel-*

vinen Lurraren adinari buruzko emaitzak zalantzan jartzera eraman zuten *Rutherford*. Interesgarria da irakurtzea *Rutherford*dek 1903 urtean hitzaldi bat ematera sartu eta han gure «*enfant terrible*», *Lord Kelvin*, topatu zue-
nean sartu zitzaion ezinegonaz idazten duena [10]:

«Hitzaldia eman behar nuen gelara sartu nintzenean, erdi iluna ze-
goen eta *Lord Kelvin* ikusi nuen entzuleen artean. Berehala jabetu nin-
tzen eman behar nuen hitzaldiaren azken zatian, Lurraren adinari bu-
ruzkoan arazoak izango nituela, nire iritziak ez baitzetozen bat haren
iritziekin. Izan ere, erabat aurkakoak ziren. Nire lasaitasunerako, hitzal-
dia hasi eta gutxira *Lord Kelvin* lo geratu zen, baina puntu garrantzitsura
hurbiltzen ari nintzenean, oilar zaharra esertzen ikusi nuen, begi bat za-
balduz, begirada zuzen bat nireganantz! Orduan, bat-bateko inspirazioa
etorri zitzaidan, eta esan nuen: “*Lord Kelvinek*, energia-iturri berririk
aurkitu ez zen bitarteraino, Lurraren adina mugatu zuen. Esaera profetiko
horrek gaur gauean, Radioari, aztertzen ari garenari, egiten dio erreferen-
tzia!”. Hara!, agureak agurtu egin ninduen.»



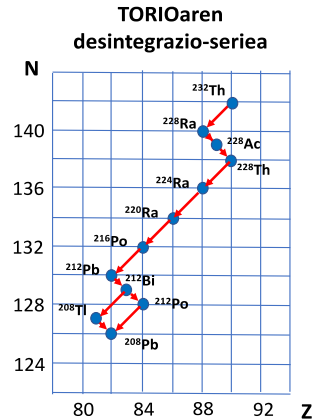
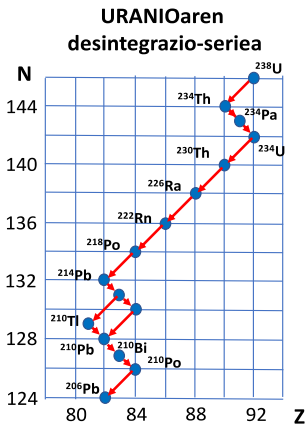
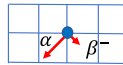
9. irudia. *Bertram B. Boltwood* kimikari estatubatuarra (1870-1927). Lehen da-
tazio erradioaktiboa egin zuen zientzialaria.

*Rutherford*dek, etxeko arrokaren datazioa egiteko, *Ramsay*k eta *Soddy*k
lorturiko Radioaren desintegrazio-abiadura erabili zuen, eta zehatza zela

onartu zuen. Baina, Helioa (gasa izan arren) denboran barrena arrokatik ez zela irtengo uste zuen. *Rutherford*den eskema ez zen aproposa, baina lehen urratsa izan zen.

2.3. Hazia erein eta fruitua jaso ez

Yale Unibertsitatean, *Bertram Boltwoodek*, graduatu ostean, material erradioaktiboen inguruko ikerketak egiten zituen eta Uranioa eta Torioa zuten arrokak aztertu zituen. 1904 urtean *Rutherford* Yale Unibertsitatean egon zen, eta han eman zuen hitzaldian *Boltwoodek* entzule gisa egoteko aukera izan zuen. Hitzaldi horrek *Boltwood* liluratu eta inspiratu zuen elementuen arteko erlazioak desintegrazio-serie desberdinetan deskribatzeko.



10. irudia. Uranioaren eta Torioaren desintegrazio-serieak (ikusita alfa eta beta desintegrazio-bideak goian). Ardatz bertikalean elementu kimikoaren isotopo konkretu horrek nukleoan duen neutroi-kopurua (N) adierazten da. Ardatz horizontalean, berriz, zenbaki atomikoa edo isotopo horrek nukleoan duen protoi-kopurua (Z). Lerro gorriak ezkererantz eta beheerantz jotzen duenean, isotopoaren desintegrazio-bideak alfa partikula bat igortzen duela adierazten du, eta, beraz, desintegrazio-produktua den isotopo-kumeak 2 protoi gutxiago ($Z-2$) eta 2 neutroi gutxiago ($N-2$) ditu. Lerro gorriak eskumarantz eta beheerantz egiten duenean, isotopoaren desintegrazio-bideak beta partikula bat (elektroia) igortzen duela adierazten du, eta, beraz, desintegrazio-produktua den isotopo-kumeak protoi bat gehiago ($Z+1$) eta neutroi bat gutxiago ($N-1$) ditu.

Artikuluaren amaierako ERANSKINEAN ezagutzen diren 4 desintegrazio-serieak aurkituko dituzu: hiru naturalak eta bat artifiziala.

Boltwood desintegrazio-serieetako azken produktueta fokatu zen. Berrun elementu kimikoa Radioaren desintegrazio osteko azken produktu

egonkorra zela 1905 urtean proposatu zuen. Hau da, aipatu dugun bezala, desintegrazio-serie baten kasuan, adibidez Uranioaren seriearen kasuan (ikus 10. irudia), Uranioaren ^{238}U isotopoaren desintegrazioak ^{234}Th sortzen du, egonkorra ez dena, eta honen desintegrazioak ^{234}Pa sortuko du; egonkorra ez denez isotopo hau ere desintegratuko da... ^{210}Po isotopo ez egonkorra sortu arte. Azken hau ere, egonkorra ez denez, desintegratu egingo da, kasu horretan, berriz, desintegrazio produktua ^{206}Pb da, egonkorra!! Azken hau, Berunaren isotopo egonkor bat!!!

Dagoeneko ezaguna zen Uranioaren desintegrazio-seriearen tarteko produktu bat Radio elementu kimikoa zela (10. irudiko Uranio desintegrazio-seriaren 6. isotopoa). *Rutherfordek* azken ondorioarekin bat egin zuen, eta gaineratu zuen Radioak hainbat alfa partikula igorritz, tarteko produktu batzuen bidez berunaren isotopo egonkor batean amaitzen zela seriea. Are gehiago, espekulatu zuen Radio-Berunaren desintegrazio-seriea erabil zitekeela arrokak datatzeko.

Boltwoodek, landa-lan asko egin ostean, 1905 urtearen bukaerarako 26 arrokaren datazioak eginak zituen eta 1907 urtean emaitzak argitaratu zituen [11]. *Boltwood* izan zen lehen datazio erradioaktiboa egin zuen pertsona, 1907 urtean Uranio-Beruna desintegrazio-seriearen metodoa erabiliz, hain zuzen.

Boltwooden artikuluak geruza/estratu alderagarrietako laginek Beruna-Uranio antzeko proportzioak dituztela azpimarratzen du. Halaber, laginetatik Beruna kanporatu ez bada geruza/estratu zaharrenetako laginek Berun-proportzio handiagoa dutela.

Torioaren desintegrazio-seriearekin ere aritu zen, baina desintegrazio-serie hori ez zen ondo ulertzen, eta horregatik azken serie horretako emaitzek akatsak zituzten. Beraz, Uranioa eta Torioa zuten laginen emaitzak ez ziren zuzenak. Hala ere, bere kalkuluak ordura arte inork egindakoak baino hobek ziren. Aipaturiko 26 laginen adin-tartea 410 eta 2.200 milioi urte bitartean zegoela argitaratu zuen *Boltwoodek* [11].

Aipaturiko lana *Boltwoodek* geologiako argitalpen garrantzitsu batean argitaratua izan arren, ez zuen behar lukeen inpaktua jaso, geologoek erradioaktibitatean interes handiegirik ez zutelako, esango nuke. Izan ere, hainbat geologok desintegrazio erradioaktiboaren berotze-efektuak Lur planetan zuen eragina baztertu zuen. Are gehiago, euren datu geologikoak eta fisikoak «errefinatu» zituzten *Kelvinek* lorturiko Lurraren adinari buruzko balioak zuzenak zirela erakusteko!! Hori dela-eta, *Boltwoodek* datazio erradioaktiboa uztea erabaki zuen, eta beste desintegrazio-serieak ikertzera jo zuen.

2.4. Datazio erradioaktiboa nagusitzen da

Robert Strutt (1875-1947) fisikari ingelesa *Rutherfordek* garaturiko Helio metodoarekin ibili zen 1910 urtera arte (aurrerago, antzua zela frogatu zen), eta ostean datazioa utzi zuen. Baina haren ikaslea, *Arthur Holmes* geologo ingelesa (ikus 11. irudia), ordea, asko interesatu zen datazio erradioaktiboan, eta aurrekoen lana jarraitu zuen, nahiz eta beste zientzialari gehienek utzia zuten. *Holmes* Berunaren datazioan fokatu zen, Helion metodoan ez baitzuen batere konfiantzarik. Arroka desberdinekin neurketak egin zituen, eta 1911 urtean ondorioztatu zuen neurtutako lagin zaharrena 1.600 milioi urte inguruko arroka zela (Ceylango lagina) [12]. Hala ere, esan beharra dago kalkulu hauek ez zirela batere fidagarriak. Horren adibide da erabilitako hipotesi hau: laginak, sortu berritan, Berunik ez zutela suposatzea, hau da bakarrik Uranioa zutela.

1913ean ikerketa garrantzitsuago bat argitaratu zuen. Han, *Holmesek* erakutsi zuen elementu kimikoak, gehienetan, aldaera askotan existitzen direla, bakoitza masa desberdinarekin. Aldaera bakoitza, elementu kimikoaren «isotopo» bat da. 1930eko hamarkadan, protoi kopuru bereko isotopoak, «*neutroi*» izenez ezagutzen diren partikula neutroen kopuru desberdinak dituzten nukleoak zeudela frogatu zen. Urte berean, desintegrazio erradioaktiboaren arauak finkatzen zituen ikerketa bat argitaratu zen, desintegrazio-serieak era hobe batean identifikatzeko bidea ematen zuena.



11. irudia. *Arthur Holmes* geologo ingelesa (1890-1965). Datazio erradiometrikoa mineraletan erabiltzeko bidea urratu zuen lehena. Haren lanari esker, Lurraren adinari buruzko eztabaida era egokian bideratu zen. Halaber, Lur-mantuaren konbekzioaren inplikazio mekaniko eta termikoak ulertu zituen lehen zientzialaria izan zen, eta horrek, azkenean plaken tektonika onartzea ekarri zuen.

Hainbat geologok aurkikuntza berri horiek datazio erradioaktiboa oso korapilotsua eta aldi berean baliogabea sentitzen zuten. *Holmes* berriz, aurkako iritzikoa zen, eta ordura arte ezagutzen ziren teknikak hobetzeko baliu zutela uste zuen. Aurrera egin zuen ikerketa-lerro horrekin, eta Lehen Mundu Gudaren aurretik eta baita ondoren ere, etengabe argitaratu zituen berak lorturiko emaitzak. Haren lana, oro har, 1920ko hamarkadara arte baztertua izan zen, baina 1917an *Joseph Barrell* (1869-1919) geologoak, Yale unibertsitateko geologia irakasleak, *Holmesen* datazio erradioaktiboetako lorpenetan oinarrituta garai hartako historia geologikoa berrinterpretatu zuen. *Barrellek* prozesu geologikoen bizitasuna era zirkular batean aldatzen dela azpimarratu zuen, eta ez era uniforme batean. Beraz, haren ustez egungo aldaketa geologikoen abiadurak ezin dira iraganeko gida izan, uniformitaristek esaten zutenaren aurka.

Arthur Holmes oso tematia izan zen, eta azkenean haren lanak 1921ean fruitua jasotzen hasi ziren. «British Association for the Advancement of Science» elkartearen (Zientzien Aurrerapenerako Britainia Handiko Elkartea) urteroko bileran, geologoak, botanikoak, zoologoak, matematikariak eta fisikariak ordezkatzeko zituzten hitzunez Lurrak mila milioi urte batzuk zituela onartzeko ados ziruditen, eta halaber, datazio-teknika desberdinak, geologikoak zein erradioaktiboak, emaniko emaitzak bateratu egin litezkeela aipatu zuten. Baina bateratasun horretarako egitaraurik ez zen bideratu, eta «guardia zaharrak» oso eszeptiko jarraitu zuen. Horietako hainbatek ez zuten oraindik onartzen Lurrak 100 milioi urte baino gehiago izan zezakeenik. Azkenean *guda* 1926 urtean *irabazi* zen, «U.S. National Research Council of the National Academy of Sciences» (Estatu Batuetako Zientzia Akademia Nazionalako Ikerketa Kontseilu Nazionala) erakundeak Lurraren adinari buruzko egoera aztertzeko batzorde bat sortu zuenean. *Arthur Holmes* batzordekidea zen eta amaierako txostenean batzordeak aho batez erabaki zuen erradioaktibitateak ematen duen *denbora geologikoen eskala* dela dagoen eskala fidagarri bakarra. Txostenak ebidentzia argi eta zehatz ugari jaso zituen. Erradioaktibitatearen konstanteak irmoki finkatu ziren, Berunaren isotopoak erraz barneratu ziren kalkuluetan, eta mineral-laginak oso kontuz aukeratu ziren desintegrazio-produktuak denboran barrena galdu ez zirela ziurtatzeko.

Denbora datatzeko metodo erradioaktiboak azkenean zientzialarien, eta bereziki, geologoen bedekazioa jaso zuen, eta historia geologiko guztia datatzeko bidea eman du.

2.5. Gaur egun ezagutzen dugun Lur planetaren adina

Harrezkero, Berunaren bidezko datazio-metodoak gero eta sofistikatua goak bilakatu dira, eta gaur egungo teknikak diote Lurraren arroka zaharrenek duela 3,8 mila milioi urte eratu zirela. Horrek, Lurra planetaren lurrazal solidoaren adin minimoa ematen digu.

Aipatu beharra dago gaur egun egiten diren datazioek *Holmesek* bideratutakoen hurbilketa berdinei jarraitzen dietela. Horrek agerian jartzen du *Arthur Holmes* geologo ingelesak egin zuen lan bikaina, *Bertram Boltwood*, *Ernest Rutherford* eta istorio honetan datazio erradioaktiboaren garapenean aritutakoak ahaztu gabe.

Baina hona iritsita, galdera garrantzitsu bat bururatzen zaigu: bat egiten al du Lurraren arroka zaharrenen adinak Lurraren adinarekin?

Lurraren arroka zaharrenen adinak ez liguke zertan eman gas- eta hauts-hodei *espiralak* Eguzki sistema kondentsatzeko behar izan zuen denbora (balio hau, 3,8 mila milioi urteko balioari gehitu beharko genioke). 1953an *Clair Patterson* Kalifornia Teknologiako Institutuko zientzialariak, honako hipotesi ausart hau proposatu zuen: «Datazio erradioaktiboaren bidez neurtutako Lurraren arroka zaharrenak Lurraren azalekoak dira; meteoritoenak, berriz, Eguzki sistemaren hauts-hodei *espiralak* kondentsatzean Lurra eta beste planetak eratzen ari zirenekoak izan daitezke». Are gehiago, hipotesi bezala hartu zuen meteoritoen adina eta Lur planetarena berdinak direla. Hipotesi hori, aurrerago, balio osokoa dela frogatu zen.



12. irudia. *Clair Cameron Patterson* geologo estatubatuarra (1922-1995). Lurraren adinari buruzko eztabaidari azken ukitua eman zion.

1953an *Clair Patterson*ek argitaratu zuen artikuluan, Berunaren isotopoekin lana eginez (*Holmesek* egin zuen bezala), Lurraren adina eta meteoritoena 4,55 mila miloi urtekoa dela [12] frogatu zuen. *Pattersonen* lanak

ezarri zuen Lurraren adina eta meteoritoena berdina dela. Horrek esan nahi du 4,55 mila miloi urteko adina Eguzki sistemaren adina ere badela. Meteoritoen gaur egungo neurketek diote jatorrizko Lurraren adina, hau da, Lur primigenioaren adina 4,55 mila milioi urtekoa dela.

Goian aipatu dut aurkitutako Lurraren arroka zaharrenak 3,8 mila milioi urte dituela, baina XXI. mendean mineral are zaharragoak bilatu dira [13]. Arroka horietan aurkitu den zirkoi mineralak 4,4 mila milioi urteko adina du. Izan ere, arrokaren adina baino zaharragoa. Hori posiblea da zirkoia oso mineral gogorra eta kimikoki oso egonkorra delako, eta aurretik eraturako arroken zatiak direlako. Beraz, lurrazalean eratu ziren arroka zaharrenen aztarna (zirkoiak) 4,4 mila milioi urte atzera eraman behar dugu.

Kontuan hartu behar da arrokak «birziklatu» egiten direla prozesu geologikoen bitartez, eta, azkenean, desagertu. Baina batzuetan, zirkoi zaharrak ez dira desegiten eta arroka berriagoetan aurkitu daitezke, osagai bezala.

Beraz, emaitza berri hori ez doa *Clair Patterson* zientzialariak eginiko proposamenaren aurka, baina xehetasun bat gehitu beharko litzaioke: Lurraren arroka zaharrenak, lurrazalekoak badira, arroka horietako zirkoi mineraletan eginiko datazioek euren adina meteorito zaharrenen adina baino apurtxo bat laburragoa dela adierazten dute. Ezberdintasuna 0,155 mila milioi urtekoa hain zuzen.

3. ONDORIOAK

Istorio honek inola ere espero ez den ezagutza berria plazaratzean, zientzialarien jarrerek sortzen dituzten interferentziak agerian uzten ditu. Istorio honek erakusten dizkigun «interferentziak» eta segidan aipatzen direnak, nahiko arruntak dira zientzia-arlo desberdinetan eta garai desberdinetan; gaur egun ere bai.

1. Zientzialariaren unibertso kontzeptualaren aurka era iraultzailean, eta bat-batekoan gertatzen denean, hainbatetan zientzialariak metodo zientifikoari jarraitu beharrean, bere «sineskeria»ri jarraitzen dio.
2. Diziplina bateko ikertzaileei asko kostatzen zaie, berentzat hartzen duten diziplinan, beste diziplinako zientzialariak onartzea (migrantearen efektua dei diezaiokegu).
3. Zientzialari baten ospe itzelak sor ditzakeen interferentziak.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. EINSTEIN, 1905. «Zur Elektrodynamik bewegter Körper», *Annalen der Physik* (Berna) **17**: 891-921.

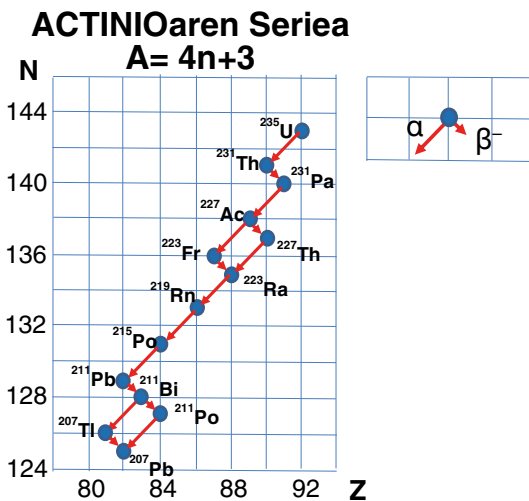
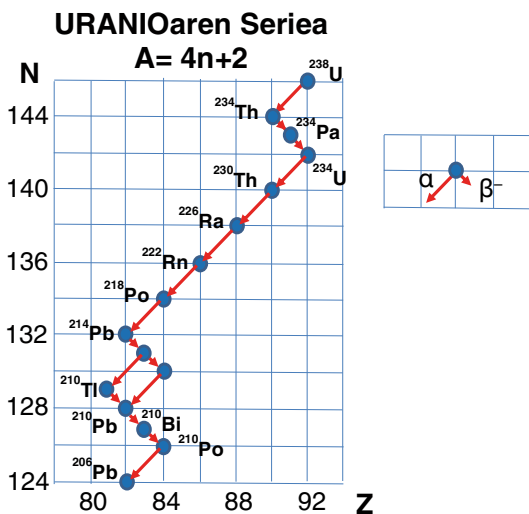
- [2] James BARR, 1984-85. «Why the World Was Created in 4004 BC: Archbishop Ussher and Biblical Chronology», *Bulletin of the John Rylands University Library of Manchester* **67**: 603-607.
- [3] Mikhail VASIL'EVICH LOMONOSOV, 2012. «On the estrata of the Earth» *Translation of «O sloiakh zemnykh» by S.M. Rowland and S. Korolev. The Geological Society of America. 41 p. (Special Paper; 485).*
- [4] James HUTTON, 1788. «Theory of the Earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the Globe». *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* (Edinburgh). **1** (Part 2): 209-304.
- [5] Charles LYELL, 1833. «Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation». London: *John Murray*. Volume **1** (1830), Volume **2** (1832), Volume **3** (1833).
- [6] Charles DARWIN, 1859. «On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life». London. *John Murray, Albemarle street*.
- [7] John PERRY, 1895. «On the age of the earth,» *Nature*, **51**: 224-227, 341-342, 582-585.
- [8] Joe D. BURCHFIELD, 1990. «Lord Kelvin and the Age of the Earth». *University of Chicago Press*, p.43.
- [9] William THOMSON (Lord Kelvin), 1901. «Nineteenth Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light», *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, **Vol. 2** (6): 1-40.
- [10] E. Arthur STEWART, 1939. «Rutherford: Being the life and letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford», *O. M. Cambridge: Cambridge University Press*.
- [11] Bertram BORDEN BOLTWOOD, 1907. «On the ultimate disintegration products of the radioactive elements. Part II. The disintegration products of uranium». *American Journal of Science*, **23** (134): 77-88. doi:10.2475/ajs.s4-23.134.78.
- [12] Clair CAMERON PATTERSON, 1953. «The isotopic composition of meteoritic, basaltic and oceanic leads, and the age of the earth». *Report by the Subcommittee on Nuclear Processes in Geological Settings, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C.*: 36-40.
- [13] J. W. VALLEY, A. J. CAVOSIE, T. USHIKUBO, D. A. REINHARD, D. F. LAWRENCE, D. J. LARSON, P. H. CLIFTON, T. F. KELLY, S. A. WILDE, D. E. MOSER, M. J. SPICUZZA, 2014. «Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography», *Nature Geoscience*, **7**: 219-223.

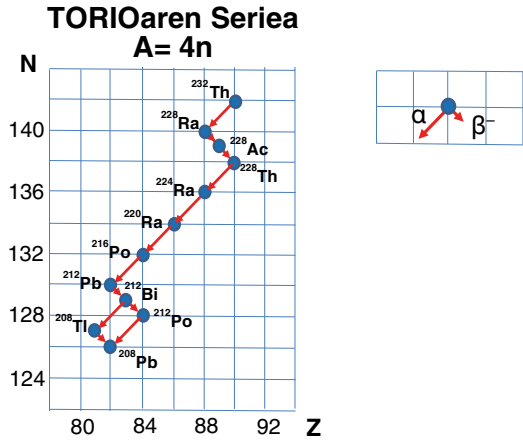
Irakurtzeko gehigarriak

- L. BADASH, 1989. «The Age of the Earth Debate», *Scientific American*, pp. 90.
- DALRYMPLE, G. Brent. 1994. «The Age of the Earth». *Stanford University Press*. ISBN 978-0-8047-2331-2.
- C. PATTERSON, G. TILTON, M. INGRAM, 1955. «Age of the Earth», *Science*. **212**: 69-75.

ERANSKINA

Segidan erakusten diren lau desintegrazio-serieak, gaur egun ezagutzen ditugunak dira. Horietako 3 naturan aurkitu daitezke (Uranioarena, Actinioarena eta Torioarena), eta laugarrena, Neptunioarena hain zuzen, artifizialki sor daiteke. Eskuman alfa eta beta desintegrazio-bideak ageri dira.





Laugarren desintegrazio-seriea, Neptunioarena, artifizialki sor daiteke, soilik.

