

GEOLOGIA 1- FISIKA 0

Lur planetaren adina

Fernando Plazaola

Zientzia eta Teknologia Fakultatea (UPV/EHU)

AURKIBIDEA

Sarrera	-----	1
1.- XX. mendera arteko Lurraren adinari buruzko eztabaida	-----	3
1.1.- Biblian oinarrituriko kronologiak	-----	3
1.2.- Naturalistak	-----	6
1.3.- Fisikariak lanean	-----	7
2.- XX. mendea	-----	11
2.1.- Erradioaktibitatearen aurkikuntza	-----	11
2.2.- Datazio Erradioaktiboa (datazio erradiometrikoa ere deitua)	--	14
2.3.- Hazia erein eta fruitua jaso ez	-----	15
2.4.- Datazio erradioaktiboa nagusitzen da	-----	16
2.5.- Egun ezagutzen dugun Lurra planetaren adina	-----	18
3.- Ondorioak	-----	18
Erreferentziak	-----	19
Eranskina	-----	20

Sarrera

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

Beraz, artikulu honi, «Geologia 1-Fisika 1» izenburua duen beste artikulu batek jarraituko dio.

Albert Einsteinek, 1905. urtean, *apurtzaileak* izan ziren 5 artikulu argitaratu zituen. Horregatik 1905 urteari «Albert Einsteinen urte miresgarria» deritzo. Horietako batean, [0] artikuluan hain zuzen, *Erlatibitate Berezia Teoria* garatzen du. Teoria honetan 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 unibertsala eta masa eta energiaren baliokidetasuna ($E=mc^2$ ospetsua).

Erlatibitate Berezia 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 sutua zegoen.

Solvay lehen 3 kongresuak 1911, 1913 eta 1921 urteetan ospatu ziren. 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 Orokorra Teoria* argitaratu zuen. Teoria honek ere iraultza itzela ekarri zuen. Honek 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 Orokorra Teoriaren arabera grabitate-indarra ez da existitzen. Baina, nola liteke? galdetuko diozu zeure buruari irakurle. Sagarrak, orain ere, zuhaitzetik zorura jausten dira!!! *Erlatibitate Orokorra 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 Orokorra Teoriak* eskolan irakatsi diguten grabitate-indarra espazio-denboraren geometriarekin lotzen/baliokidetzen edo hobe, ordezkutzen du. Ordezkapena ez da semantikoa, izan ere *Erlatibitate Orokorra Teoriak* proposaturiko eremu-ekuazioak *Karl Schwarzschildek*, lehen mundu gudako Errusiako frontean zegoelarik, egoera ez tribial batean ebatzi zituen. Einsteini bidali zion eskutitzean, 1915eko abenduaren 22an datatua, honela zioen «Ohar zintezkenez, tiro gogorrek jasan arren, gudak nahiko adeitasunez tratatu nau, aukera eman bait dit, guztitik aldenduz zure ideien esparruan ibilaldi bat eman ahal izateko». Einsteinek proposaturiko erlatibitate orokorraren ekuazioen lehen ebazpen zehatza eskutitzean ageri zen, eta ebazpen honek zulo beltzei bide zuzena ematen zien. Hala ere, lan honek ez zuen erakargarritasun handirik jaso, garai hartan inork ez baitzuen uste, postulatu zuen hain masa handiko objekturik existitzen zenik (gorputz/izar horretako ihes-abiadura, argiaren abiadura baino handiagoa izan behar baitzuen). Urte asko pasa izan ziren bere 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 beranduago, 1916an hil zen, armadan hartutako gaixotasun larri baten ondorioz, 42 urterekin.

Erlatibitate Orokorra Teoriaren baieztapena *Arthur Stanley Eddingtonek* burutu zuen. *Eddington*, 1919ko maiatzaren 29an gertatu zen eguzkiaren eklipse osoa aztertzeraz, Afrikatik hurbil dagoen Principe uhartera bidaiatu zuen. Eklipse osoa gertatzen zen bitartean eguzkiaren ondoko izarren argazkiak atera zituen. Einsteinen *Erlatibitate Orokorra Teoriaren* arabera eguzkitik hurbil agertu beharko lirakeen izarrek apur bat desplazatuak egon beharko lirakeke. Euren argia eguzkiaren eremu grabitatorioak kurbatuko lituzkelako. Efektu hau, garai hartan, eklipse batean ikus zitekeen soilik, eta behatu zutena bat zetorren Einsteinen *Erlatibitate Orokorra Teoriarekin*. Baieztapen honek, Einstein mundu osoan ezaguna egin zuen, izan ere, sekula izan den zientzialaririk ezagunena bilakatu zuen.



1. irudia
Times, 1919-07-11



2. irudia
Eguzkiaren Ekliipse Osoa 1919ko maiatzaren 29an

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

Lurraren adinari buruz, ordura arteko iragarpen/aurreikuspen mamitsuenak, fisikariek eginak, ez zetozen bat Charles Darwinen proposatutako teoria ebolutiboarekin. Teoria ebolutiboaren arabera gizakiarenganaino heltzeko, gure espezieraino (*Homo Sapienseraino*) heltzeko, denbora luzea pasatzea eskatzen du, eta aldiz, goian aipaturiko ezagutzaren aurrerapen guzti horiek eman zirenean, garai hartan proposaturiko Lurraren adinak ordurako oso errotua zegoen Darwinen teoria zalantzan jartzen zuen.

Goazen deskribatzea hasiera-hasieratik zein urrats jarraitu ziren egun ezagutzen dugun Lurraren adina, 4.500 miloi urte gutxi gorabeherakoa dela ezagutu arte.

1.- XX. mendera arteko Lurraren adinari buruzko eztabaida

1.1.- Biblian oinarrituriko kronologiak

Bizi garen munduak hasiera bat izan zuela postulatu lehena erlijio judeo-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 erlijioak 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 bertan Testamentu Zaharreko genealogiak jarraituz (ikus James Barr [1]) *Egutegi Julianoaren* Kristo Aurreko 4004. urteko urriaren 23an (udazkeneko ekinokziotik hurbil) mundua sortu zela ondorioztatu zuen. *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 beranduago ezin zitekeen Kristo jaio.

2.- «*Kristoren jaiotzatik Babiloniako Amel Marduken erregetzaraino*». Kalkulu hau 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 kontutan hartu zuen eta balio hori 424 urtera gutxitu zuen: KA 588tik KA 1012raino.

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

5.- «*Abrahamen migraziotik Kreazioraino*» James Barrek dio periodo honen luzera, *Genesis 5* eta *11* liburuetan ageri diren leinu/familia desberdinen data kronologikoak jarraituz, ez dela zaila kalkulatzeko. Ussherrek periodo honen iraupenak 2082 urtekoa zela ondorioztatu zuen, KA 1922- KA 4004 tartekoa hain zuzen. Hots, gai izan zen deduzitzeko kreazioa KA 4004 urtean gertatu zela.

Ussher ez zen kalkulu kreazioaren urteraino egitera mugatu, urte sasoi (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, Bibliako genealogietan oinarritutako proposamen gehienetatik nahiko hurbil dago. Adibidez, *Jose ben Halaftak KA 3761* urtea kreaziorako eta *Bedek KA 3952* emanikoak adierazgarri bi dira.

Egun dugun ezagutzatik begiratuta kalkulu hauek 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 ikastea 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.

The year
of the
World.

i

The
Julian
Period.The year
before
Christ.

THE ANNALS

OF THE

OLD TESTAMENT,

From the beginning of the World.



In the beginning God created Heaven and Earth, *Gen. 1. v. 1.* Which beginning of time, according to our Chronologic, fell upon the entrance of the night preceding the twenty third day of *October*, in the year of the Julian Calendar, 710.

4004 710.

Upon the first day therefore of the world, or *October 23.* being our Sunday, God, together with the highest Heaven, created the Angels. Then having finished, as it were, the roofe of this building, he fell in hand with the foundation of this wonderfull Fabrick of the World, he fashioned this lowermost Globe, consisting of the Deep, and of the Earth; all the Quire of Angels singing together, and magnifying his name therefore. [*Job. 38. v. 7.*] And when the Earth was void and without forme, and darknesse covered the face of the Deepe, on the very middle

of the first day, the light was created; which God severing from the darknesse, called the one day, and the other night.

On the second day [*October 24. being Monday*] the firmament being finished, which was called Heaven, a separation was made of the waters above, and the waters here beneath enclosing the earth.

Upon the third day [*October 25. Tuesday*] these waters beneath running together into one place, the dry land appeared. This confluence of the waters, God made a Sea, sending out from thence the rivers, which were thither to return again [*Eccles. 1. vers. 7.*] and he caused the Earth to bud, and bring forth all kinds of herbs and plants, with seeds and fruits: But above all, he enriched the garden of Eden with plants; for among them grew the tree of Life, and the tree of Knowledge, of good and evil. [*Gen. 2. vers. 3, 9.*]

On the fourth day [*October 26. which is our Wednesday*] the Sun, the Moon, and the rest of the Stars were created.

On the fifth day [*October 27. Thursday*] Fish and flying Fowl were created, and endued with a blessing of encrease.

And upon the sixth day [*October 28. which is our Friday*] the living creatures of the earth took their creation, as well going, as creeping creatures. And last of all, man was made and created after the image of God, which consisted principally in the divine knowledge of the minde, [*Coloss. 3. vers. 10.*] and in the naturall and proper sanctity of his will, [*Ephes. 4. vers. 24.*] And he forth-with, when all living creatures, by the Divine Power, were brought before him, as a Lord appointed over them, gave them their names, by which they should be called. Among all which, when he found none to help him like to himself, lest he should be destitute of a fit companion, God taking a rib out of his side, while he slept, fashioned it into a woman, and gave her to him for a wife, establishing withall, a law of marriage between them; then blessing them, he bade them wax and multiply, and gave them dominion over all living creatures, and for them all he provided a large proportion of food and sustenance to live upon. To conclude, sin being not yet entered upon the world, God beheld all that he had made, and, behold, it was exceeding good. And so was the evening, and so was the morning of the sixth day. [*Gen. 1. vers. 31.*]

Now upon the seventh day, [*October 29. which is, with us Saturday,*] when God had finished

B

1.2.- Naturalistak

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

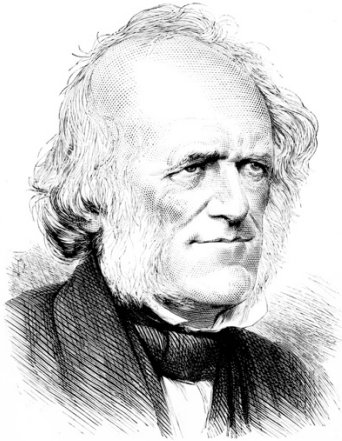
XVIII. mendearen erdi aldera *Mikhail Lomonosov* (1711-1765) zientzialariak Lurra bere kaxa sortu zela aditzera eman zuen lehena izan zen. Hau da, Lurra Unibertsoaren beste zatiekiko independente sortu zela, eta bata bestea baino ehundaka milaka urte lehenago [2]. 1779 urtean *Buffoneko Konteak* esperimentu baten bidez Lurraren adina neurtzen saiatu zen. Berak sinisten 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/zenbatetsi 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. Gainontzeko naturalista gehienek berriz, ez ziren arduratzen Lurraren adinari buruz. Izan ere, denbora oso luzea pasa zela oraingo egoerara heltzeko zioten. Azken ikuspegi hau oso ondo adierazita ageri da *James Huttonek* 1795an argitaraturiko «*Theory of the Earth*» liburu klasikoan [3]: «Ez dugu hasiera baten lekukorik topatzen, eta amaiera baten arrastorik ere ez». Izan ere liburu hau, hurrengo artikuluan aipatuko dugun *Uniformitarismoa Teoriaren* oinarria izan zen.

Periodo geologikoen kronologiek *Huttonen* garaikideak kezkatzen zituen. Hainbatetan arrokek, ezagutzen ez ziren organismoen fosilak zituzten. Horrela, batzuk interpretatu zuten arroketan geruzaz-geruza ageri ziren organismoen aldaketak organismoen garapena adierazten zutela. 1790 urtean, *William Smith* naturalistak, aipaturiko fosilak kontutan hartuz, honako hipotesi hau plazaratu zuen: *Oso kokapen desberdineko bi arroka-geruzek, antzeko fosilak edukiz gero, onargarria da esatea arroka-geruza biak adin berdinekoa/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 bait zituzten egin. *William Smithen* ilobak, *John Phillipsek*, bere osabaren hipotesia 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 stratigrafikoez finkatzeko zenbat denbora behar zuten.

1830-33 urteen artean *Charles Lyell* (1797-1875) geologoak «*Principles of Geology*» liburuaren 3 bolumenak argitaratu zituen [4] eta aipaturiko lanei indar teoriko galanta eman zien. *Lyellek* behin eta berriro zioen bai arroken osatzea eta bai beste ezaugarri geologikoen, 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, *uniformitarismora* bihur zedin

Lyellek konbentzitu zuen. *Uniformitaristek* arin osatzen ari zen Lur planeta gazte bat existitu zenik 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, ehundaka milioi urte iraun duela. Lurraren adina balio horien biderkaketa beharko lukela izan *Lyellek* aditzera ematen du.



4. irudia

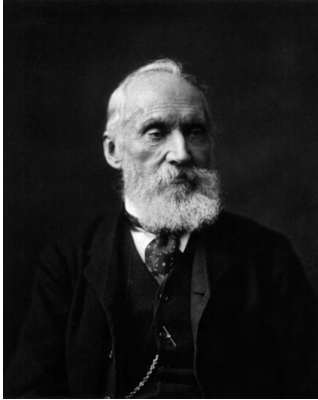
Charles Lyell geologoa (1797-1875)

1.3.- Fisikariak lanean

Glasgowko *William Thomson* (1824-1907) fisikariak (beranduago *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 zioena oso gerta ezina irizten zion eta honela 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 nukleoa bero irauten zuela. Gero eta Lurraren barnerago sartu, gero eta tenperatura handiagoa.

Lurraren adina deduzitzeko *Thomsonek* 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. Bere burutapenak zioen, denbora pasa ahala, Lurraren azalaren gradiente termikoa gutxitzen 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 pasa den kalkulatu zuen. Lurrak duen berotasun guztia, Eguzkiaren ekarpen txiki bat salbu, Lurra osatzean gertaturiko grabitate-kontrakzioaren/uzkurduraren ondorio zela susmatu zuen. Gero, Lurrak beroa zein ondo garraiatzen duen eta zenbat bero behar den Lurra urtzeko edo bere tenperatura kopuru batean altxatzeko ikertu zuen. Ziur zegoen Lurra apurka-apurka era uniformeaz hoztu zela, energia espazioko huts hotzera erradiatuz, termodinamikaren bigarren legeak dioena jarraituz. *Jean Baptiste Joseph Fourierren* bero-eroankortasunaren teoria erabiliz Lurraren tenperatura banaketaren eboluzioa aurrean zuen. Egindako kalkuluak Eguzkitik jasotzen den beroa eta marea-marruskaduraren eraginak lortuz baieztatu zituen.



5. irudia

William Thomson fisikaria. *Lord Kelvin* izendatua (1824-1907)

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

- 1) Arrokaen urtze-tenperatura ez zuen ezagutzen. Lurraren barneko tenperaturari balio bera esleitu zien.
- 2) Arrokaen eroankortasun termikoak.
- 3) Arrokaen bero ahalmen espezifikoak.

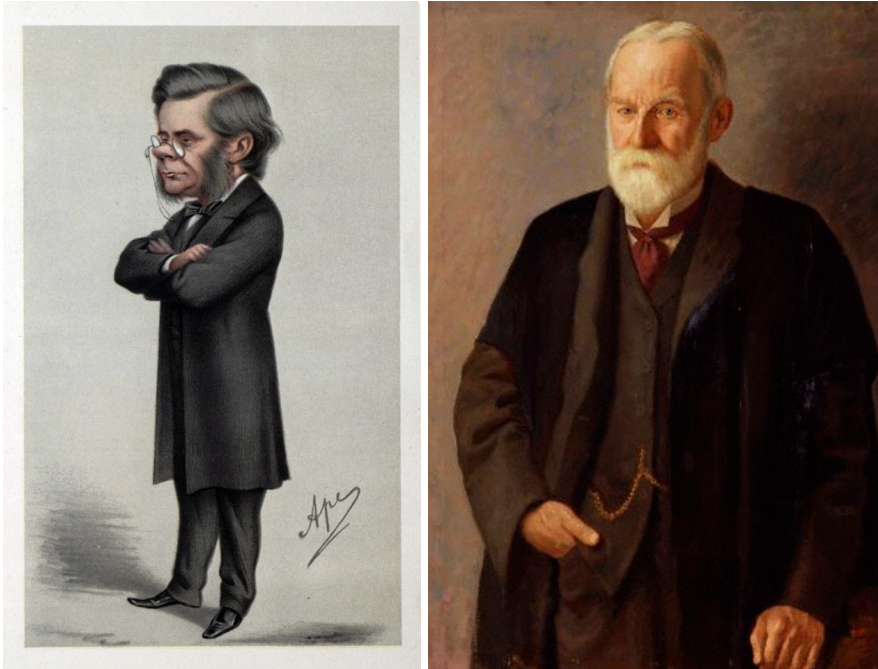
Kalkulu honetan ez zuen kontuan hartu Lurraren barneko konbekzioa (bere aburuz Lurraren barnean konbekzioa bidera dezakeen likidorik ez dago). Beroaren konbekzio termikoak Lurraren goi mantuaren tenperatura altuago bat denbora luzeagoan mantentzea onartzen du, eta Lurrazaleko gradiente termiko handi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

Thomsonen lanak geologoak larritu zituen, oso eroso bait zeuden mugagabeko denboraren ideiarekin. Ez zitzairen 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 I- Fisika I*» hurrengo artikuluan gauza bera agertuko zaigu eta han, «*migrantearen efektua*» deituko diogu), baina aurka egiteko argumenturik ez zituzten. *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 bezain beste edo gehiago biologoak asaldatu zituen. *Charles Darwin*ek (1809-1882) «*On the origin of species*» liburu famatua, 1859 urtean argitaratu zuen [5], eta plazaraturiko teoriak dio ezagutzen dugun dibertsitate biologikoa lortzeko, hautaketa natural geldoa behar dela. *Darwinek Thomson* «*odious espektro*»-tzat hartzen zuen. *Darwinek* eta beste biologoek postulatu zuten organismo konplexuek 40 milioi urte baino gehiago beharko luketela garatzeko. Baina, ez organismo bizirik, ez eta fosilik ere, ez zuten oinarririk ematen kalkulu independente bat egiteko, kalendario biologikoa geologian oinarritzen baitzen.

*Thomson*ek lorturiko emaitzak *Darwin*en jarraitzaile sutsuenekin borrokan jarri zituen; *John Tyndall* eta *Thomas H. Huxley* zientzialariek bereziki. Azken honek, 1869an Londoneko «*Geological Society*» elkarterako, bere presidentetzarako hitzaldian argudiatu zuen geologo moderno bat ez zela gehiago uniformitarismo absolutu batean tematuko, baina uniformitarismoaren printzipioek aplikatu zitezkeela. Hori esan ostean bere erretorika *Thomson*en aurka jarri zen. Honako hau admititu zuen: «ez da prozesu

matematikoen zehaztasuna baimendu behar, guztiz onartezina den agintaritzita-ixura ematen dutena, ondorioen gaineratik jartzea, formulen orrialdeek ez bait dute datu solteetatik emaitza zehatzik lortzeko aukerarik». Beharbada, *Huxley*, Lurretik erradiatutako beroa, *Thomson*ek suposatu zuena baino motelago gerta zitekeela aditzera eman zuen. Eta bere baitan kalkuluak onak ziruditela, baina hipotesi okerretan oinarritzen zirela.



5. 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 honetan ibili zen bakarra. *Hermann von Helmholtz* mediku eta fisikari alemanak 1856 urtean eta *Simon Newcomb* 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 egun duen diametroa eta igortzen duen argitasunera kondentsatzeko.

*Charles Darwin*en sementa ere, *George H. Darwin* (1845-1912), Cambridge unibertsitateko astronomia irakasle berau, eztabaidan sartu zen ere. 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 egungo 24 orduko errotazio-periodora moteltzeko, hau da, egun dugun 24 orduko eguna edukitzeko.

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

Geologo batzuek ere bat egin zuten *Thomson*en zenbatespenekin; hala nola, lehen aipatu dugun *William Smith*en ilobak, *John Phillipsek*, bere osabaren hipotesia jarraituz, Lurraren adina 96 milioi urtekoa izan behar zuela ondorioztatu zuen. *Archibald Geikie*

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 guztia 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 segidako urratsak jarraitu zituen:

- i) Kalkuluetarako Ozeanoetara urtero heltzen zen ur-kopurua eta bolumen unitateko gatz-kopurua beharrezkoak zituen. Garai hartan lor zitezkeen balio hoberenak erabili zituen.
- ii) 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 honetan, egun ezagutzen ditugun ozeanoak garatzeko 80-90 milioi urte behar izan zituela *Jolyk* kalkulatu zuen.

Gutxi gora behera garai berean geologo kopuru gero eta zabalago batek irentsi zuen Lurraren adina 100 milioi baino gutxiagokoa zela. Hala ere, kritikoak bazeuden 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 egon zitekeela.
- b) Batzuk zioten Lurra ez zela sekula urtu.
- c) Beste batzuk 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 [6], non aipatzen duen *Thomsonek* erabili zuen Lurraren barneko eroankortasun termikoa txikiegia zela, handiagoa beharko zukeela. Lurraren barnean jariakina beharko lukeela zioen (*Lord Kelvin*, arrazoi desberdinengatik, hipotesi honen aurka zegoen). Hipotesi horren pean, Lurraren adin askoz luzeagoa lortu zuen, 96×10^8 urte = 9.600 milioi urte!!! Baina, argitarapen honek berehalako-inpaktu oso txikia izan zuen, *Thomsonen* emaitzekin bat ez zetorrelako eta halaber, Lurraren jariakinaren existentzia ez zuelako onartzen.
- d) Beste batzuk kritiko ziren higadura, sedimentazioa eta gazitasuna kalkuluetan erabilitako dataren balioekin.

Hala ere, XIX. mendea bukatzeaz zegoenean Lurraren adina 100 milioi urte ingurukoa zela geologo gehienek onartzen zuten. Eta hori *Thomsonekin* adiskidetu gabeko diferentzia asko zituztela. Baina, garaiko zientzialarien artean *Thomsonen* ospea oso handia zen. Izan ere, zientzian zuen ospeagatik, bereziki termodinamika esparruko lorpenei esker, «*Lord*» izendatu zuten lehen zientzialari Britainiarra izan zen. *Lord* izendapena 1892 gertatu zen, Lurraren adinaren eztabaida pil-pilean zegoenean. Beraz, Lurraren adinaren bere estimazioa oso errespetatua izan zen, eta *Darwinen* teoriaren aurkako oztopo handiena bilakatu zen. Aipatu beharra dago, *Thomsonek* (dagoeneko *Lord 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 urtetan geratu zen [7]. Hots, ebidentzia geologiko/biologiko guztiak kontuan hartu gabe, *Thomsonek* 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 zenbatespenen arabera are laburragoa, 20-40 milioi urte tartekoa. *Lord Kelvin*en (*William Thomson*, Britaniar *Lord* izendatutako lehen zientzialaria) ospea itzela zenez, 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 esperimenduaren 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 hobe, ez ziren bateragarriak *Darwin*en teoriarekin.

Ikusi dugun bezala fisikariak izan ziren Lurraren adina era kuantitatiboan 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 bertan ikusiko dugu XX. mendearen hasieran gauzak erabat aldatu zirela. Erradioaktibitatearen aurkikuntzak gauzak erabat irauli zituen, ezaguna ez zen energia mota berri bat plazaratu baitzen. Fisikarien nagusitasuna hasiera batean garrantzitsua izan arren Geologoen lortu zuten 20ko hamarkadaren amaieran egun ezagutzen dugun Lurraren adina lortzea.

2.- XX. mendea

2.1.- Erradioaktibitatearen aurkikuntza

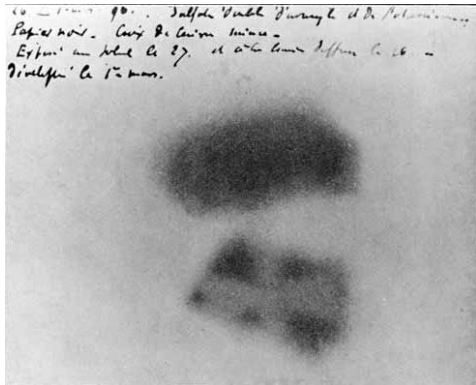
Aurrera segi aurretik komeni da aipatzea XIX. mendean aurkitu dugun «*enfant terrible*»ak, *William Thomson*, *Lord Kelvin* zientzialari britaniarrak, 1900 urtean aurkezpen oso interesgarria eta aipatua «Royal Institution» erakundearen eman zuela: «XIX. mendearen orbanak Beroaren eta Argiaren Teoria Dinamikoan» [8]. Bertan aipatzen diren «orban ilun» bi horiek XIX. mende amaieran zegoen iluntasunarekin lotuta daude, hots:

- 1) Materia eterraren zehar nola higitzen da? (aurkezpenean *Michelson* eta *Morley*ren esperimenduaren emaitza itxaron gabeak ere aipatzen ditu).
- 2) Mekanika estatistikoaren ekipartizio legea apurtzeko kezka.

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

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

XX. mendea heltzear zegoenean, 1896 urtean, *Henri Becquerel*ek, Uranio-gatzaren fluoreszentsia propietatea ikertzen ari zelarik, materiaren propietate berri bat topatu zuen. Izan ere, argazki plaka baten gainean gela ilun batean uranio-gatzak jarri zituenean, argazki-plaka belztu egiten zela jabetu zen (ikus 6. irudia). Beranduago, aurkezturiko propietate berri honi *Berezko Erradioaktibitatea* deitu zitzaion.



6. irudia.

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

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 nahiko bero sortzen duela. Interes handia piztu zen itxuraz agortezina izan zitekeen energia horretaz. Zerk sortzen du energia hori?

Ernest Rutherford eta *Howard Barries* zientzialariek jatorria topatu zuten. Sortutako beroa, erradiatutako alfa partikula kopuruaren proportzionala zela ohartu ziren. 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, uzkurdura/kontrakzio grabitatorioa zen energia-iturri bakarra, eta hasierako Lurraren eta Eguzkiaren jatorriko beroa apurka-apurka espazioan iraungitzen, moteltzen, edo hozten doa. Honek esan nahi du XIX. mendeko hipotesiek desintegrazio erradioaktiboaren ondorioz bero hori etengabe berritu zitekeela ez zutela kontuan hartzen (ez baitzen ezaguna).

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



7. irudia
Ernest Rutherford
fisikari Zelanda
Berritarra (1871-
1937). Kimikako
Nobel Sariduna
1911an.



8. irudia
Frederick Soddy
zientzialari ingelesa
(1877-1956).
Kimikako Nobel
Sariduna 1921an.

Urte desberdinetan Kimikako Nobel saridunak bilakatuko ziren *Ernest Rutherford* zientzialari Zelanda Berritarra eta *Frederick Soddy* ingelesa, 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 batean bilakatzen da, prozesuan *alfa*, eta/edo *beta* eta/edo *gamma* erradiazioa igorritik. Aurkikuntza honek kimikarien artean ezinegon handia sortu zuen, garaiko zientzia materiaren apur-ezintasunaren printzipioan oinarrituta bait zegoen. Beraz, aurkikuntza bera, garai hartan, *ezagutzaren iraultza* ikaragarria zen, berezko desintegrazio prozesua berezko alkimia baitzen!

Beste aurkikuntzak ere egin zituzten, hala nola, elementu erradioaktiboak ez zirela arintasun berdinarekin desintegratzen/transmutatzen. Izan ere, elementu erradioaktibo baten isotopo konkretu bakoitzak desintegrazio-abiadura berezia 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 1 KUTXA). Desintegrazio-abiadura hori «*erdibizitza*» baten bidez ematen da. Era zehatz batean definituz, pasa behar den denbora-tartea material erradioaktiboaren atomokopurua erdira gutxitzeko desintegrazioaren bidez, isotopo erradioaktibo horren *erdibizitza* da. *Erdibizitzak* oso-oso luzeak izan daitezke, milaka milioi urtekoak, zein oso-oso laburrak, segundo baten milioirenak. Isotopo erradioaktibo bakoitzak berea den eta berau ezaugarritzen duen *erdibizitza* du.

1 KUTXA

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

Adibidez Hidrogenoaren kasuan, ${}^1_1\text{H}$: 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 balioaz edo X ikurraz 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). Berriz, *erdibizitza* laburreko elementu erradioaktiboak, orokorrean, dagoeneko Lurrazaletik desagertu dira. Horrek, material erradioaktiboaren ehuneko erlatiboak lagin geologikoetan determinatuz Lurraren adina neurtzea posible izan zitekeela aditzera ekarri zuen. Elementu erradioaktiboak, ez dira orokorrean, era zuzenean, elementu «egonkorretan» desintegratzen (erradioaktiboak ez diren elementuetan), aldiz, ohikoena da beste elementu erradioaktibo batean 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, eranskinean topatuko dituzu) erradioaktibitatea aurkitu eta urte gutxi barrura ezagutu ziren, adibidez Uranio-Radio eta Uranio-Torio

serieak (ikus eranskina), eta bidea eman zuten *datazio erradioaktiboaren edo erradiometrikoaren* oinarriak eraikitzeko. Hau da, arroken adina neurtzeko aukera eman zezaketen.

2 KUTXA

Alfa desintegrazio-bidea



Alfa desintegrazioa 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] semean desintegratzen da. Bide horretan alfa partikula bat (bi aldiz ionizaturiko helio ioia) igortzen da.

Beta desintegrazio-bidea



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

2.2.- Datazio Erradioaktiboa (datazio erradiometrikoa ere deitua)

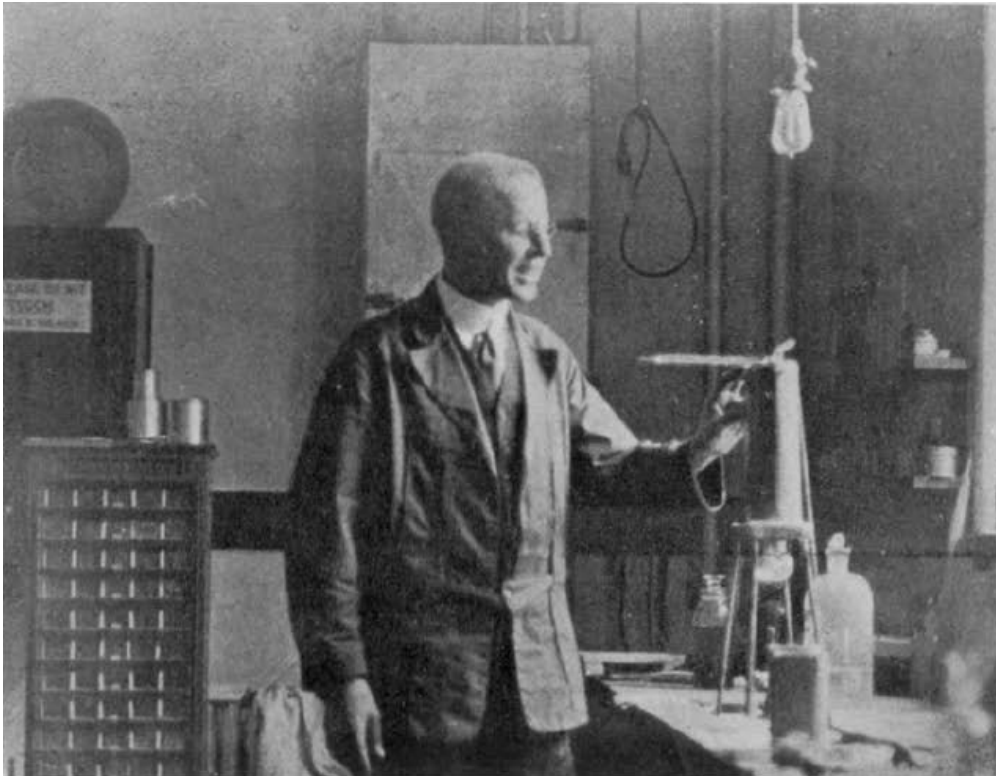
Datazio erradioaktiboaren aitzindariak *Bertram B. Boltwood* kimikaria eta *Ernest Rutherford* izan ziren. Datazio erradioaktiboaren lehen urratsa 1904 urtean *Rutherfordek* egin zuen, desintegrazio erradioaktiboetan askaturiko alfa partikulak arroketa harrapa daitezkeela helio atomoen moduan aditzera eman zuenean. Garai horretan *Rutherford*, alfa partikulen eta helio atomoen arteko erlazioa arakatzen ari zen. Izan ere, 4 urte beranduago, 1908 urtean, Kimikako Nobel Saria eman zioten urtean, alfa partikulak helio-nukleoak direla frogatu zuen. Beno, era zehatz batean esanda, alfa erradiazioaren ostean helio asko agertzen zela aurkitu zuen (2 KUTXAn alfa eta beta desintegrazio bideak topatuko dituzu).

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

Soddyk eta Sir *William Ramsay* kimikari britaniarrak (1852-1916) Radio elementu kimikoaren alfa partikulen igortze-abiadura lortu berri zuten, eta *Rutherfordek* arroka baten adina, helio elementuaren kontzentrazioa neurtuz determinatu zitekeela proposatu zuen. Era honetan, bere etxean zuen harri bat 40 milioi urte zituela datatu zuen. Emaizta horrek eta azken urte horietako erradioaktibitatearekin lotutako aurkikuntzak, *Lord Kelvin*en Lurraren adinari buruzko emaitzak zalantzan jartzea eraman zuten *Rutherford*. Interesgarria da irakurtzea *Rutherfordek* 1903 urtean hitzaldi bat ematera sartu eta bertan gure «*enfant terrible*», *Lord Kelvin*, topatu zuenean sartu zitzaion ezinegonaz idazten duena [9]:

«Hitzaldia eman behar nuen gelara sartu nintzenean, erdi iluna zegoena, *Lord Kelvin* ikusi nuen entzulegoaren artean. Berehala jabetu nintzen eman behar nuen hitzaldiaren azken zatian, Lurraren adinari buruzkoan, arazoak izango nituela, nire iritziak bere iritziekin ez bait zetozen bat. Izan ere, erabat aurkakoak ziren. Nire lasaitasunerako,

hitzaldia hasi eta gutxira *Lord Kelvin* lo geratu zen, baina puntu garrantzitsura hurbiltzen ari nintzenean, oilar zaharra esertzen ikusi nuen, begi bat zabalduz, begirada zuzen bat nireganantz! Orduan, bapateko inspirazioa etorri zitzaidan eta esan nuen: «*Lord Kelvin*ek, energia-iturri berririk aurkitu ez zen bitarteraino, Lurraren adina mugatu zuen. Esaera profetiko hori gaur gauean, Radioari, aztertzen ari garenari, egiten dio erreferentzia!» Hara!, agureak agurtu egin ninduen»



9. irudia. *Bertram B. Boltwood* kimikari Estatu Batuarra (1870-1927).
Lehen datazio erradioaktiboa egin zuen zientzialaria.

*Rutherford*ek etxeko arrokaen datazioa egiteko *Ramsay* 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 suposatu zuen. *Rutherford*en 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 mineralak aztertu zituen. 1904 urtean *Rutherford* Yale Unibertsitatean egon zen eta bertan eman zuen hitzaldian *Boltwood* entzule gisa egoteko aukera izan zuen. Hitzaldi horrek *Boltwood* liluratu eta inspiratu zuen elementuen arteko erlazioak desintegrazio-serie desberdinetan deskribatzeko.

Boltwood desintegrazio-serietako (ikus eranskina) azken produktuetan fokatu zen. Beruna 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 eranskina), 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, desintegratuko da, kasu honetan 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 (6. isotopoa Uranioaren desintegrazio-seriean, ikus eranskina). *Rutherfordek* azken ondorioarekin bat egin zuen, eta gaineratu zuen Radioak hainbat alfa partikula igorri, 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 lana asko egin ostean 1905 urtearen bukaerarako 26 arroken datazioak eginak zituen eta 1907 urtean emaitzak argitaratu zituen [10]. *Boltwood* izan zen lehen datazio erradioaktiboa egin zuen pertsona, 1907 urtean Uranio-Beruna desintegrazio-seriearen metodoa erabiliz, hain zuzen.

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

Torioaren desintegrazio-seriearekin ere aritu zen, baina desintegrazio-serie hori ez zen ondo ulertzen, eta horregatik azken serie honetako ikerketak akatsak zituzten. Beraz, Uranioa eta Torioa zuten laginen emaitzak ez ziren zuzenak. Hala ere, bere kalkuluak ordurarte inork egindakoak baino hobetoak ziren. Aipaturiko 26 laginen adin-tartea 410 eta 2.200 milioi urte bitartean zegoela *Boltwoodek* argitaratu zuen [10].

Aipaturiko lana *Boltwoodek* geologiako argitarapen garrantzitsu batean argitaratua izan arren, ez zuen behar lukeen inpakturik jaso, geologoek erradioaktibitatean interes handiegirik ez zutelako esango nuke. Izan ere, hainbat geologok desintegrazio erradioaktiboaren berotze efektua Lurra 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 ikertzeraz jo zuen.

2.4.- Datazio erradioaktiboa nagusitzen da

Robert Strutt (1875-1947) zientzialari ingelesa *Rutherfordek* garaturiko helio metodoarekin ibili zen 1910 urtera arte (beranduago antzua zela frogatu zen), eta ostean datazioa utzi zuen. Baina bere ikasleak, *Arthur Holmes* geologo ingelesak, ordea, asko interesatu zen datazio erradioaktiboan eta aurrekoen lana jarraitu zuen, nahiz eta beste zientzialari gehienek utzia zuten. *Holmes* Berunaren datazioan fokatu zen, Helioren metodoan ez baitzuen batere konfiantzarik. Arroka desberdinekin neurketak egin zituen eta 1911 urtean ondorioztatu zuen neurtutako lagin zaharrena 1.600 milioi urte inguruko arroka bat zela (Ceylango lagina) [11]. 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 garrantzitsuagoa argitaratu zuen. Bertan, *Holmesek* erakutsi zuen elementu kimikoak, gehienetan, aldaera askotan existitzen direla, bakoitzak masa desberdinarekin. Aldaera bakoitza, elementu kimikoaren «isotopo» bat da. 1930eko

hamarkadan, protoi kopuru berdineko isotopoak, «*neutroi*» izenez ezagutzen diren partikula neutroen kopuru desberdina dituzten nukleoak zeudela frogatu zen. Urte berean, desintegrazio erradioaktiboaren arauak finkatzen zituen ikerketa bat argitaratu zen, desintegrazio-serieak era hobeto batean identifikatzeko bidea ematen zuena.



10. irudia.

Arthur Holmes geologo ingelesa (1890-1965).

Datazio erradiometrika mineraletan erabiltzeko *bide-urratzailea* egin zuen. Bere lanari esker Lurraren adinari buruzko eztabaida era egokian bideratu zen. Halaber, Lurraren mantuaren konbekzioaren inplikazio mekaniko eta termikoak ulertu zituen lehen zientzialaria izan zen, eta honek, azkenean plaken tektonika onartzea ekarri zuen.

Hainbat geologok aurkikuntza berri horiek datazio erradioaktiboa oso korapilotsua egiten zutela, eta aldi berean balio gabea sentitzen zuten. *Holmes* berriz, aurkako iritzikoa zen, eta ordurarte ezagutzen ziren teknikak hobetzeko balio zutela uste zuen. Aurrera egin zuen ikerketa lerro horrekin, eta Lehen Mundu Gerraren aurretik eta baita ere ondoren, etengabe argitaratu zituen berak lorturiko emaitzak. Bere lana, oro har, 1920ko hamarkadara arte baztertua izan zen, baina 1917an *Joseph Barrell* (1869-1919) geologoak, Yale unibertsitateko geologia irakasleak, *Holmes*en 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, bere ustez egungo aldaketa geologikoen abiadurak ezin dira iraganeko gida izan, uniformitaristek esaten zutenaren aurka.

Arthur Holmes oso tematia izan zen eta azkenean bere lanek 1921ean fruitua jasotzen hasi ziren. «British Association for the Advancement of Science» elkartearen (Zientzien Aurrerapenerako Britainia Handiko Elkarte) urteroko bileran, geologoak, botanikoak, zoologoak, matematikariak eta fisikariak ordezkatzeko zituzten hitzunean Lurrak mila milioi urte batzuk zituela onartzeko ados ziruditen, eta halaber, datazio teknika desberdinak, geologikoak zein erradioaktiboak, emaniko emaitzak bateratu egin litezkela aipatu zuten. Baina bateratasun horretarako egitaraurik ez zen bideratu eta «guardia zaharra» oso eszeptiko jarraitu zuen. Hauetako hainbatek ez zuten oraindik onartzen Lurrak 100 milioi urte baino gehiago eduki zezakenik. Azkenean *guda* 1926 urtean *irabazi* zen «U.S. National Research Council of the National Academy of Sciences» (Estatu Batuetako Zientzia Akademia Nazionaleko 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 geologikoaren eskala*, dagoen eskala fidagarri bakarra dela. Txostenak ebidentzia argi eta zehatz ugari jaso zituen. Erradioaktibitatearen konstanteak irmoki finkatu ziren, Berunaren isotopoak erraz baneratu 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, geologoek bedeinkazioa jaso zuen, eta historia geologiko guztia datatzeko bidea eman du.

2.5.- Egun ezagutzen dugun Lurra planetaren adina

Harrezkero, Beruna bidezko datazio metodoak gero eta sofisticatuagoak bilakatu dira, eta egungo teknikak diote Lurraren arroka zaharrenak duela 3,8 mila milioi urte eratu zirela. Honek, Lurra planetaren lurrazal solidoaren adina minimoa ematen digu. Aipatu beharra dago, gaur egun egiten diren datazioek *Holmesek* bideratutako hurbilketa berdinak jarraitzen dituztela. Honek 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. Lurraren arroka zaharrenen adinak Lurraren adinarekin bat egiten al du?

Lurraren arroka zaharrenen adinak ez digu ematen 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 (ikus 11. irudia), honako hipotesi ausarta 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, meteoritoen adina eta Lur planetarena berdinak direla hipotesi bezala hartu zuen. Hipotesi hau, beranduago, balio osokoa dela frogatu zen.

1953an *Clair Patterson*ek argitaratu zuen artikuluan, Berunaren isotopoekin lana eginez (*Holmesek* egin zuen bezala), Lurraren adina eta meteoritoenak 4.55 mila miloi urtekoa dela [11] frogatu zuen. *Patterson*en lanak ezarri zuen Lurraren adina eta meteoritoena berdina dela. Horrek esan nahi du 4.55 mila miloi urteko adina Eguzki sistemaren adina dela ere. Meteoritoen egungo neurketek diote jatorrizko Lurraren adina, hau da, Lurra primigenioaren adina 4.55 mila milioi urtekoa dela.



11. irudia.
Clair Cameron Patterson geokimiko estatu batuarra (1922-1995).
Lurraren adinari buruzko eztabaidari azken ukitua eman zion.

3. Ondorioak

Istorio honek espero ez diren neurketa/behaketa berriak plazaratzen direnean, hots, espero gabeko ezagutza berria plazaratzen denean, zientzialarien izateak/gizatasunak sortzen dituen 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.

- 1) Zientzialariaren unibertso kontzeptualaren aurka era iraultzailean, eta bat-batekoan gertatzen denean, hainbatetan zientzialariak metodo zientifikoa jarraitu beharrean, bere «siniskeria» jarraitzen du.
- 2) Disziplina bateko ikerlariei asko kostatzen zaie onartzea beste disziplinako zientzialariak berauena bezalako hartzen duten disziplinan ikertzea (migrantearen efektua dei diezaiokegu).
- 3) Zientzialari baten ospe itzelak sor ditzakeen interferentziak.

Erreferentziak

- [0] A. Einstein, 1905. «Zur Elektrodynamik bewegter Körper», *Annalen der Physik* (Berna) **17**: pp. 891-921.
- [1] 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.
- [2] 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).*
- [3] 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.
- [4] 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).
- [5] 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*.
- [6] John Perry, 1895. «On the age of the earth,» *Nature*, **51**: 224-227, 341-342, 582-585
- [7] Joe D. Burchfield, 1990. «Lord Kelvin and the Age of the Earth». *University of Chicago Press*, p.43.
- [8] 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.
- [9] E. Arthur Stewart, 1939. «Rutherford: Being the life and letters of the Rt. Hon. Lord Rutherford», *O. M. Cambridge: Cambridge University Press*.
- [10] 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](https://doi.org/10.2475/ajs.s4-23.134.78).
- [11] 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.

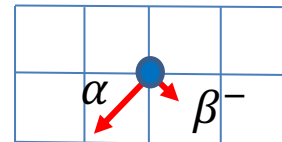
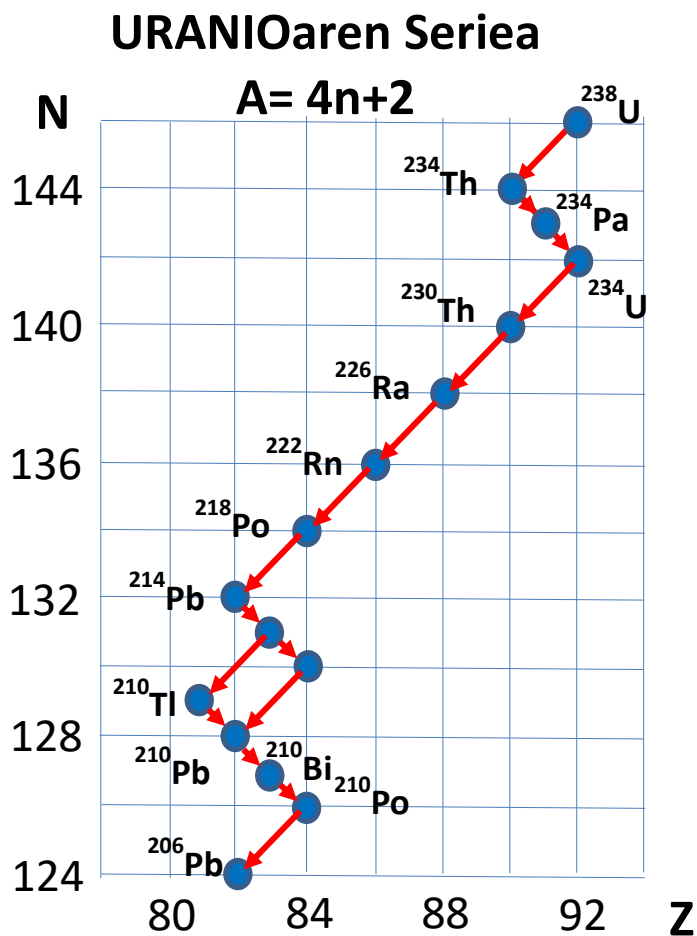
Irakurtzeko gehigarriak

- L. Badash, «*The Age of the Earth Debate*», *Scientific American*, August 1989, 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. Inghram, 1955. «Age of the Earth», *Science*. **212**: 69-75.

ERANSKINA: Segidan erakusten diren lau desintegrazio-serieak, egun ezagutzen ditugunak dira. Horietako 3 naturan topa daitezke (Uranioarena, Actinioarena eta Torioarena), eta laugarrena artifizialki sor daiteke soilik, Neptunioarena hain zuten. Eskuman alfa eta beta desintegrazio bideak ageri dira (ikus alfa eta beta desintegrazio bideak 2 KUTXAN).

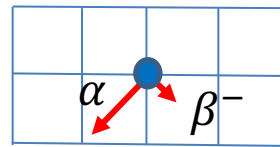
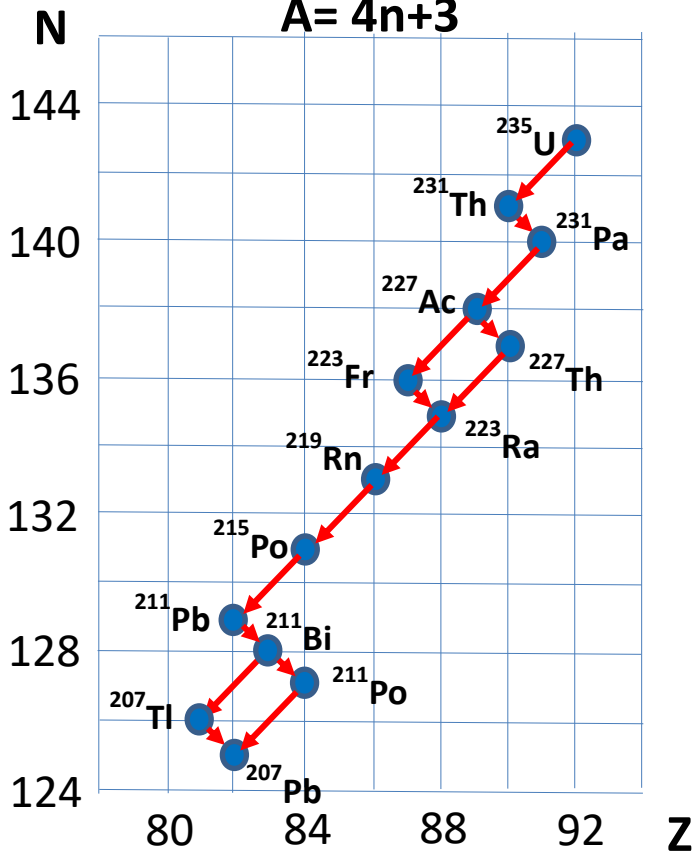
Ardatz bertikalean elementu kimikoaren isotopo konkretu horrek nukleoan duen neutroi kopurua (N) adierazten da. Ardatz horizontalean, berriz, zenbaki atomikoa edo isotopo horrek nukleoan duen protoi kopurua (Z).

Lerro gorriak ezkererantz eta beherantz jotzen duenean, isotopoaren desintegrazio bideak alfa partikula bat igortzen duela adierazten du, eta beraz, desintegrazio-produktua den isotopo semeak 2 protoi gutxiago (Z-2) eta 2 neutroi gutxiago (N-2) ditu. Lerro gorriak eskumarantz eta beherantz egiten duenean, isotopoaren desintegrazio bideak beta partikula bat (elektroia) igortzen duela adierazten du, eta beraz, desintegrazio-produktua den isotopo semeak protoi bat gehiago (Z+1) eta neutroi bat gutxiago (N-1) ditu.



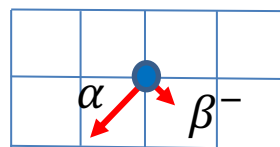
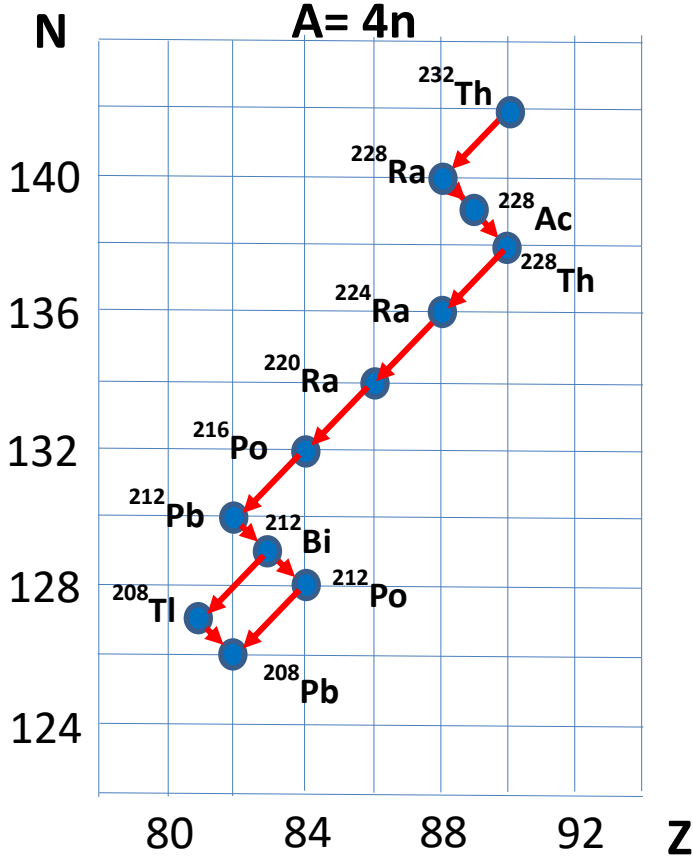
ACTINIOaren Seriea

$$A = 4n + 3$$



TORIOaren desintegrazio-seriea

$$A = 4n$$



NEPTUNIOaren desintegrazio-seriea

