

GEOLOŠKI



ODSJEK



IZOTOPNA GEOLOGIJA

Prof. Ladislav A. Palinkaš

UVOD

Izotopna geologija se razvila u široko primjenjivu disciplinu u geoznanostima doprinoseći značajno u rješavanju raznovrsnih problema od paleontologije do petrologije.

Iako je složeni analitički rad sa skupim instrumentarijem privilegija malobrojnih laboratorija u bogatim zemljama, poznavanje principa i interpretacije izotopnih podataka je neizbježna potreba modernog geologa koji želi pratiti tijek razvoja geoznanosti. To zahtjeva obvezatno uvođenje IZOTOPNE GEOLOGIJE u curriculume do- i poslije-diplomskih studija.

Günter Faure,
Ohio, Columbus, 1977. g.

Korijeni izotopne geologije

Koliko je stara Zemlja?

... možda je nepristojno zahtjevati od naše majčice Zemlje da nam kaže koliko je stara, no Znanost se bez srama od vremena do vremena zanima i trudi da otkrije veo tajne koju ona tako ljubomorno čuva.

Arthur Holmes, 1913.

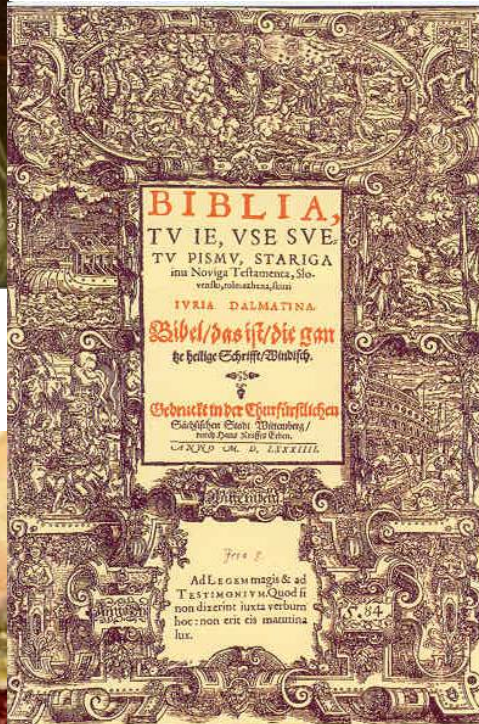


Arthur Holmes
(1890-1965)

Korijeni izotopne geologije



James Ussher
(1581-1656)



Biskup Ussher, 1650 g. Ustvrdio;
Zemlja je stvorena **4004 god. B.C. !**

Znanstveni pristup temeljen na
prebrojavanju i geneologiji
biblijskih ličnosti. Podatak prisutan
u svim Engleskim biblijama.
Potpuno zaustavio znanstvenu
argumentaciju u procjeni starosti.



Korijeni izotopne geologije

Do 1750. g. Smatra se da su sedimentne stijene nastale tijekom Velike poplave u vrijeme Noe, kao trenutni katastrofični događaj. Cijelo stoljeće geolozi ne diraju službenu crkvenu dogmu, barem ne javno.





Korijeni izotopne geologije

KATASTROFIZAM VS. UNIFORMITIZAM; James Hutton iz Škotske u knjizi **Theory of the Earth**, 1785.g. zagovara uniformitizam, sporo ali trajno mijenjanje lica Zemlje u prošlosti ali i u budućnosti. Zemlja mora biti vrlo stara ali ne bezgranično....

James Hutton
(1726-1797)

Charles Lyell, 1830.g., tiska **Principles of Geology**, i konačno se rastaje zajedno s ostalim geolozima od Mojsijeve priče kao osnove za procjenu starosti. Debele naslage sedimenata trebaju dugo, vrlo dugo vrijeme da bi se nataložile.



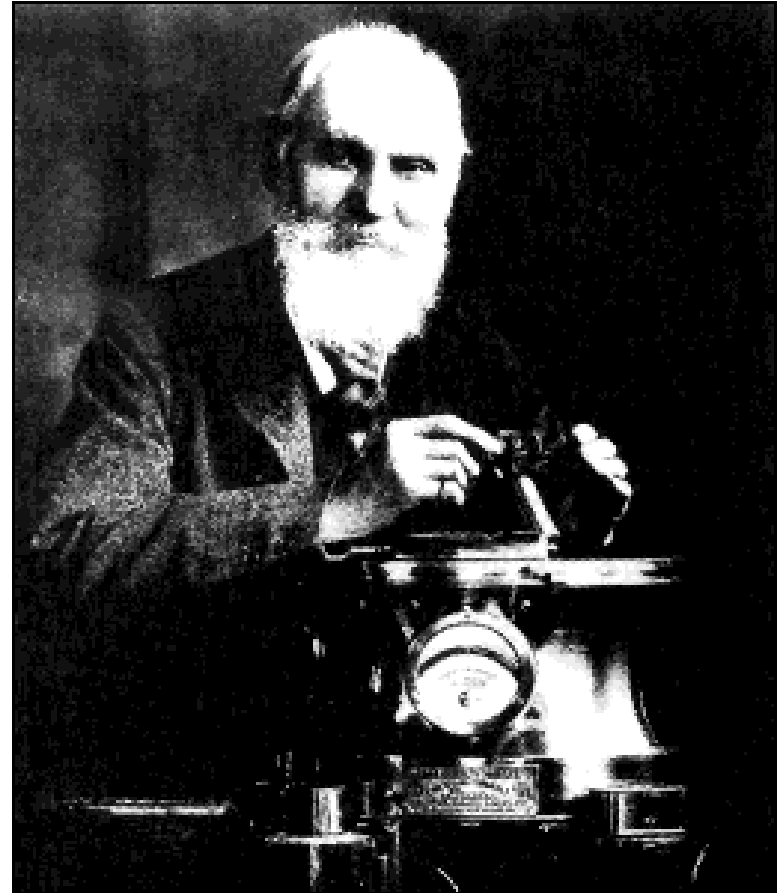
Korijeni izotopne geologije

Neočekivani **Napad** na geološku logiku; posve neočekivano prosljeđuje iz polja fizike. **William Thomson alias Lord Kelvin** (1824-1907) autoritativno izračunao starost Zemlje na osnovi hlađenja nebeskog tijela, grijanja zračenjem sunca, nebeskih plima i oseka.

Zemlja ne može biti starija od 100 milijuna godina !!!

Za idućih 50 godina geolozi su u mišjoj rupi, autoritet vrhunskog fizičara i njegov blistavi matematički aparat ubrzali su geološke procese, sedimenti se moraju taložiti fantastičnom brzinom.

Kelvin 1897. nakon još detaljnijih proračuna tvrdi još potkrepljenije: **«Zemlja ne može biti starija od 40 milijuna godina. . .»**



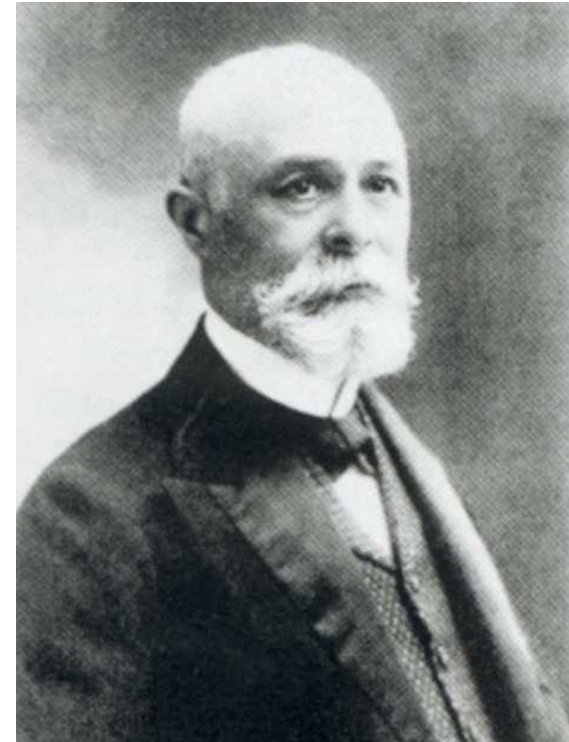
William Thomson alias Lord Kelvin
(1824-1907)

Korijeni izotopne geologije

Ali !1896. g. **Henry Becquerel**,
ironično godinu dana ranije, otkriva
radioaktivnost kao egzotermni proces.
Prirodna radioaktivnost proizvodi
toplino !!

**Lord Kelvinovi proračuni bili su
pogrešni!!** Geologija konačno počinje
disati svojim plućima.

T.C. Chamberlin je 1899. napisao:
«Fascinantna impresivnost rigorozne
matematičke analize, sa atmosferom
preciznosti i elegancije, ne bi nas trebala
zaslijepiti da vidimo pretpostavke uvjeta
cijelog procesa. . .».



Henry Becquerel
(1852 - 1908)

Otkriće radioaktivnosti

1880. god. **Henri Becquerel** otkrio radioaktivnost, studirajući luminiscenciju uranildisulfata. Fotografiska ploča zamotana u zaštitni fotografski papir pocrnila je pod utjecajem zračenja.

Herojske godine

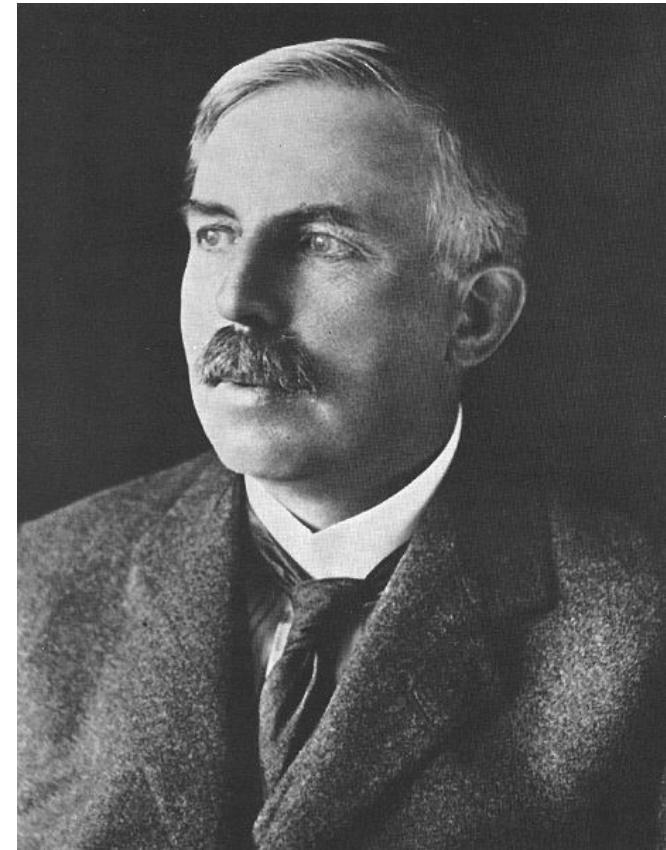
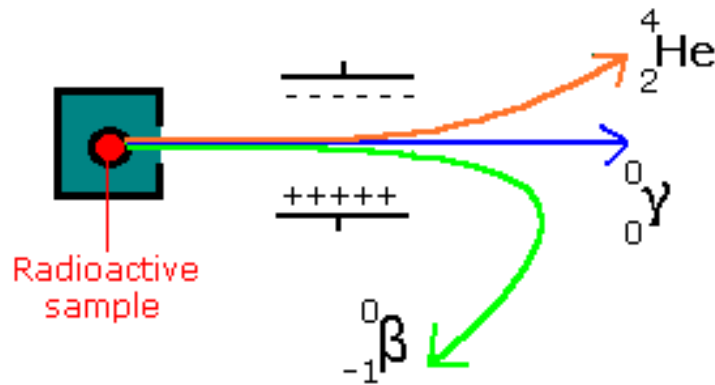
Otkriće Becquerela motiviralo je **Mariju Sklodowsku Curie** da studira radioaktivnost uranske rude, pehblende. Kemijski rad nastavlja sa svojim suprugom Pierom, u nekoj šupi u predgrađu Pariza, na 1 toni rude iz Joachimsthal. Slijedi otkriće mnogo aktivnijih emitera zračenja **polonija i radija**. Marije Curie, nobelovka od 1903. g., uvodi naziv «radioaktivnost». Umrla je 1934. od leukemije, izazvane dugotrajnim radom s radioaktivnim materijalom.



Marie Skłodowska Curie
1867-1934

Otkriće radioaktivnosti

U magnetskom polju, Ernest Rutheford 1889. god. otkriva prirodu radioaktivnog zračenja, što se sastoji od α , β , i γ zraka. α -zrake su α -čestice ili pozitivne helijeve jezgre, β -zrake su elektroni i γ -zrake su elektromagnetsko zračenje.



Ernest Rutheford
(1871-1937)

Otkriće radioaktivnosti

Slijede epohalna otkrića o strukturi atoma, 1919. proton (Rutherford), 1932. neutron (Bothe, Joliot i Chadwick), kvantni model atoma (Niels Bohr), daljni razvoj građe atoma na principima kvantne fizike (Dirac, Heisenberg, Schroedinger), otkriće izotopa (Richard),

Soddy predlaže ime «izotop», «isotopes» (grč.) ili isto mjesto u periodnom sustavu.

Aston F.W. konstruira prvi spektrometar masa otkriva 212 od 287 prirodnih izotopa u svom životnom istraživačkom opusu.

Nier A.O. izgrađuje spektrometar masa na principima koji se koriste i u modernim instrumentima.



Alfred Nier
1911 - 1994

Impakt na geologiju

Curie i Labord 1903. demonstriraju egzotermni efekat radioaktivnosti !!!

John Joly uviđa veličinu toplinskog efekta i spekulira u svojoj knjizi «Radioactivity and Geology» o mogućem uzroku orogenetskih pokreta.

Rutheford i Boltwood 1905. predlažu radioaktivnost urana i njezin produkt helij, kao metodu za određivanje starosti. Prva mjerenja su dala starost 500 milijuna godina.

Lord Kelvin je pogriješio !!! (deset godina ranije, tvrdio je da je Zemlja stara 40 milijuna godina).

Da se izbjegne eksplozivno sučeljavanje Rutheford je diplomatski izjavio na predavanju o izvoru topline u Zemlji 1904. god. u Royal Institutu, da je Kelvin neotkriveni izvor topline u Zemlji anticipirao u svojim ranijim radovima (lord Kelvin, u to vrijeme stari uvažavani gospodin, prespavao je taj dio diskusije, srećom!).

Impakt na geologiju

Arthur Holmes u knjizi «The Age of the Earth» 1913. kao 23-godišnji mladić jadikuje kako geolozi, nakon što ih je «pomeo» Kelvin s premalom starošću, odbacuju veliku starost koju predlažu radiometrijska mjerenja.

Prva Holmesova vremenska skala predlaže starost 1300 mil. god. dobivenu na arhajskim gnajsevima, a starost bi mogla biti i veća (1600 mil.god.). Ostatak života Holmesova istraživanja ukazuju na sve veću starost Zemlje.



Arthur Holmes

Stabilni izotopi

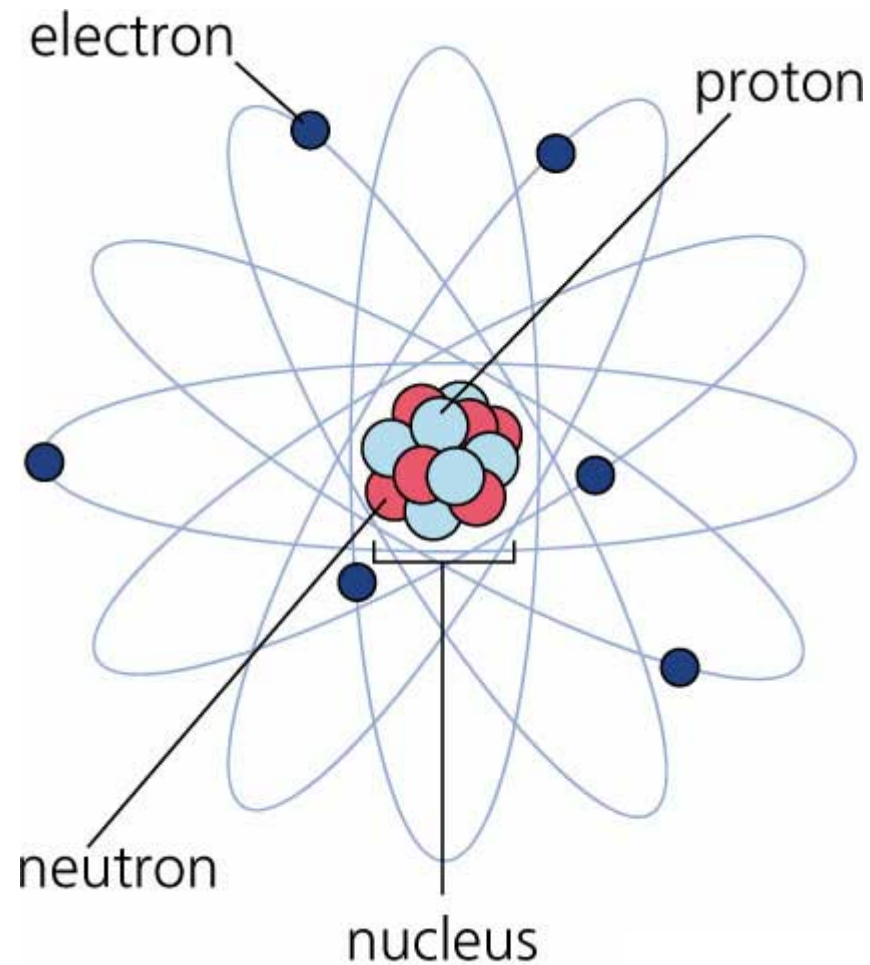
Harold C. Urey otkrio deuterium ^2H (izotop vodika).

Nakon sudjelovanja u izradi atomske bombe u II. Svjetskom ratu, posvećuje se frakcionaciji stabilnih izotopa u prirodi, i predlaže mjerenje paleotemperature pomoću karbonatnih fosilnih ljuštura školjkaša.



Harold C. Urey
(1893–1981)

Unutrašnja građa atoma



Unutrašnja građa atoma

Veličina jezgre: 10^{-12} cm ili 10^{-4} Å

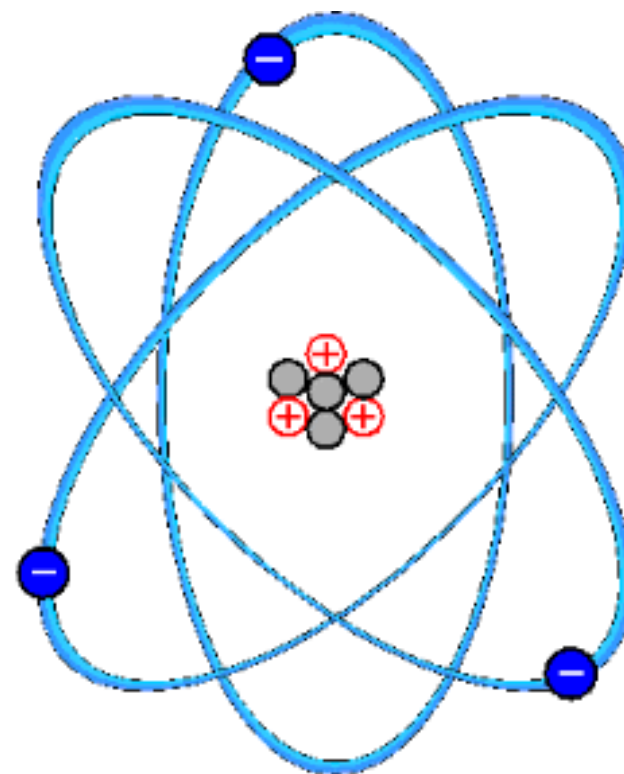
Gustoća jezgre: **100 mil.tona/cm³ !!!!!!!!!!!!!**

..... Crna rupa!

Elektroni: 1/1831.1 mase protona

Neutralni atom: $\Sigma p^+ = \Sigma e^-$

Kemijska svojstva određuje broj protona,
i građa elektronskog oblaka



Lithium atom

- Neutron
- ⊕ Proton
- Electron

Nuklearna sistematika

“**nuklid**” - sinonim za atom

“**nukleoni**” - protoni p^+ i neutroni n^0

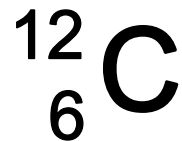
(Otkrivene i brojne druge elementarne čestice)

Z = broj protona, “atomski broj”, redni broj

N = broj neutrona, «neutronska broj»

$A = Z + N$ «maseni broj»

Primjer nuklida:



6 protona, 6 elektrona, i $12 - 6 = 6$ neutrona

Izotopi - isti atomski broj (broj protona)

Izobari - isti maseni broj

Izotoni - isti broj neutrona

Dio tablice nuklida

Z	N	Element	A	Abundance (%)
22	1	Na	23	100
22	2	Na	24	100
22	3	Na	25	100
22	4	Na	26	100
22	5	Na	27	100
22	6	Na	28	100
22	7	Na	29	100
23	0	Mg	24	78.99
23	1	Mg	25	10.00
23	2	Mg	26	11.01
23	3	Mg	27	11.01
23	4	Mg	28	11.01
23	5	Mg	29	11.01
23	6	Mg	30	11.01
23	7	Mg	31	11.01
24	1	Al	25	100
24	2	Al	26	100
24	3	Al	27	100
24	4	Al	28	100
24	5	Al	29	100
24	6	Al	30	100
24	7	Al	31	100
25	1	Si	26	92.23
25	2	Si	27	3.09
25	3	Si	28	4.68
25	4	Si	29	4.7
25	5	Si	30	5.1
25	6	Si	31	5.05
25	7	Si	32	5.05
25	8	Si	33	5.05
25	9	Si	34	5.05
25	10	Si	35	5.05
26	1	P	28	100
26	2	P	29	100
26	3	P	30	100
26	4	P	31	100
26	5	P	32	100
26	6	P	33	100
26	7	P	34	100
26	8	P	35	100

Zadatak. Napiši N , Z i A za nuklide ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{130}\text{Xe}$ i ${}^{238}\text{U}$.

Atomska težina

^{12}C ima 6 protona i 6 neutrona = 12 subatomskih čestica sa zamjetljivom masom

$^{12}\text{C} = 12.000000$ jam (jedinica atomske mase, engl. atomic mass units, amu)

1 mol ^{12}C 12.000000 g, 1 mol = 6.022×10^{23} atoma

Atomska težina (masa) je relativna vrijednost prema ^{12}C

Jedinica atomske mase (jam), atomic mass unit (amu) = $1/12$ ^{12}C

atomska težina (masa) klora = 35.4526 amu

$$\left. \begin{array}{l} {}^{35}\text{Cl} (75.77\%) = 35 \times 0.7577 = 26.4958 \\ {}^{37}\text{Cl} (24.23\%) = 37 \times 0.2423 = \underline{8.9568} \end{array} \right\} +$$

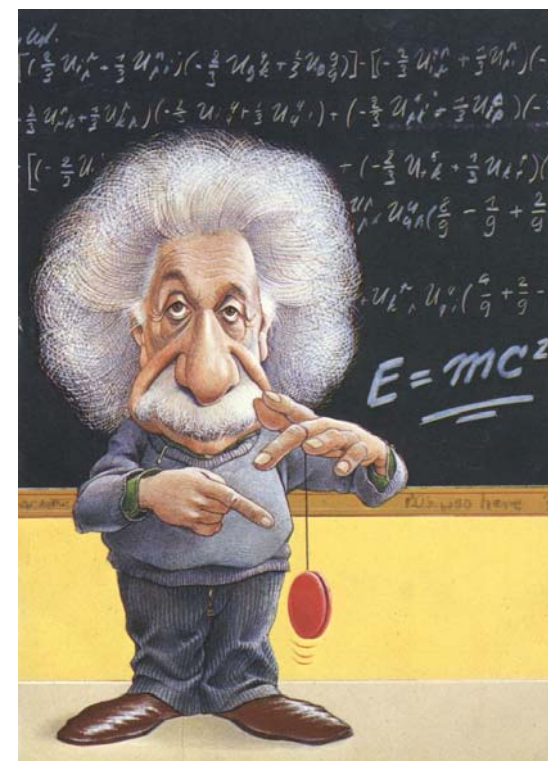
$$= 35.4526$$

Suma mase nukleona manja je od mase jezgre za energiju vezivanja (binding energy)

Einsteinova relacija energija – tvar:

$$E_B \text{ (energija vezivanja)} = \Delta M c^2$$

ΔM = defekt mase

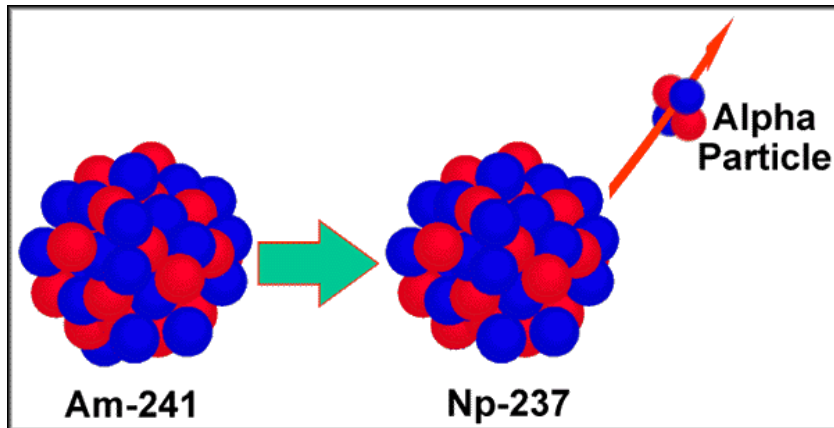


${}_{13}^{27}\text{Al}$ E_B (energija vezivanja) po nukleonu aluminija je 8.332 **MeV** !

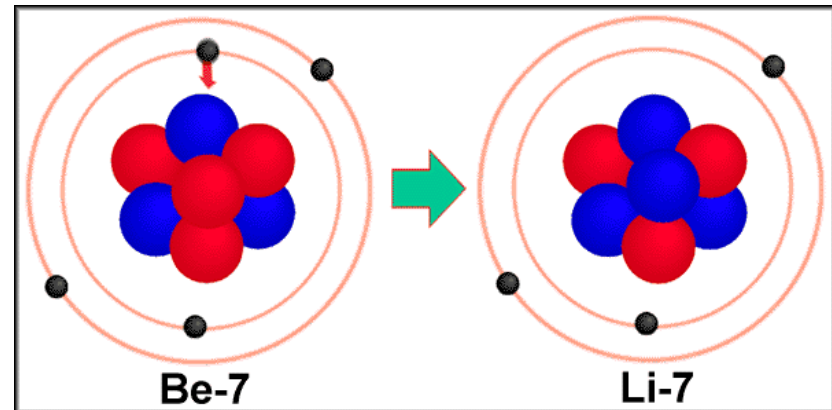
Zadatak. Odredi energiju vezanja po nukleonu ${}^{56}\text{Fe}$ (55,934934)

Tipovi radioaktivnog raspada

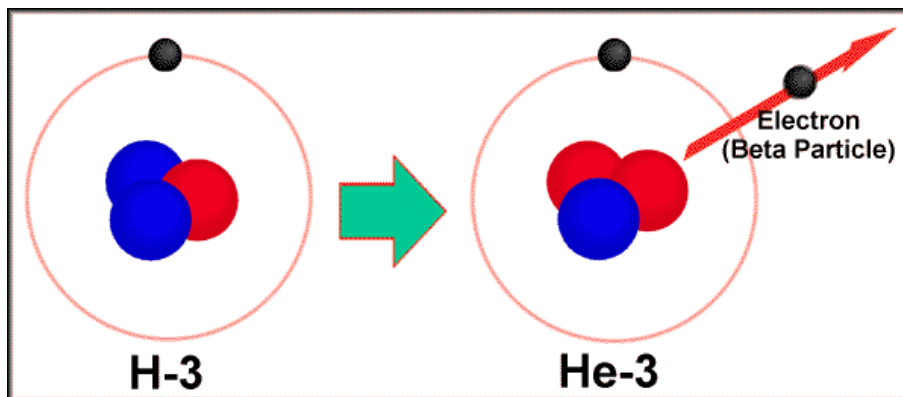
α -raspad



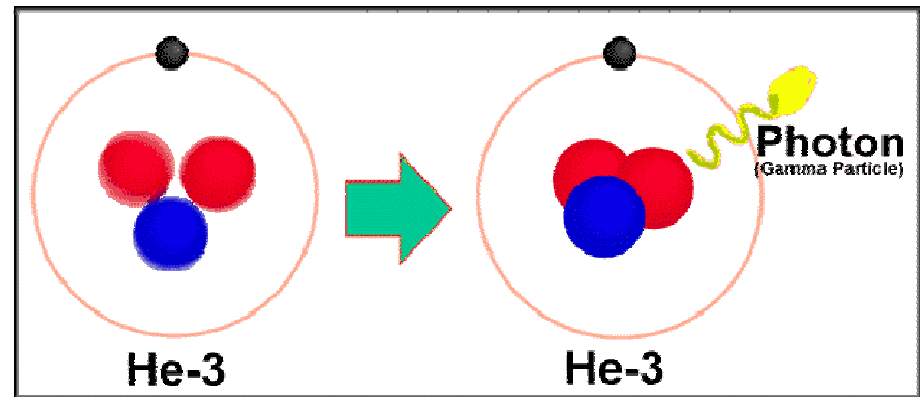
kaptiranje elektrona



β -raspad



γ -raspad



Radioaktivni raspad i rast

Brzina radioaktivnog raspada

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$-\int \frac{dN}{N} = \lambda \int dt$$

$$-\ln N = \lambda t + C$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$D^* = N_0 - N$$

$$D^* = N_0 - N_0 e^{-\lambda t}$$

$$D^* = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

$$D^* = N_0 e^{\lambda t} - N = N(e^{\lambda t} - 1)$$

$$D = D_0 + N(e^{\lambda t} - 1)$$

*Raspad radioaktivnih roditelja
u stabilnu djecu*

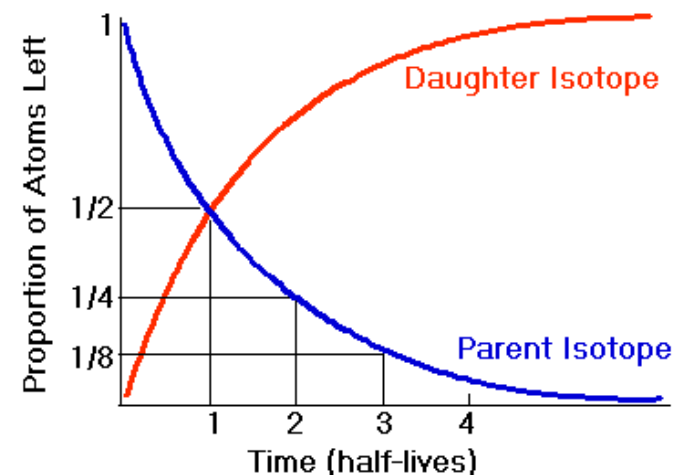
$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda T_{1/2}$$

$$\ln(2) = \lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$T_{1/2}$ - poluvrijeme raspada
 λ - konstanta radioaktivnog raspada
D - djeca izotopi
D* - radiogena djeca izotopi
N - roditelji izotopi



Zadatak.

Masena spektrometrija

Principi masene spektrometrije

$$E = e \times V = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$BeV = m \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{2eV}{m} = \frac{B^2 e^2 r^2}{m^2}$$

$$\frac{m}{e} = \frac{B^2 r^2}{2v}$$

$$r = \frac{143,95}{B} \sqrt{\frac{mV}{e}}$$

$$r \propto \sqrt{m}$$

E – kinetička energija

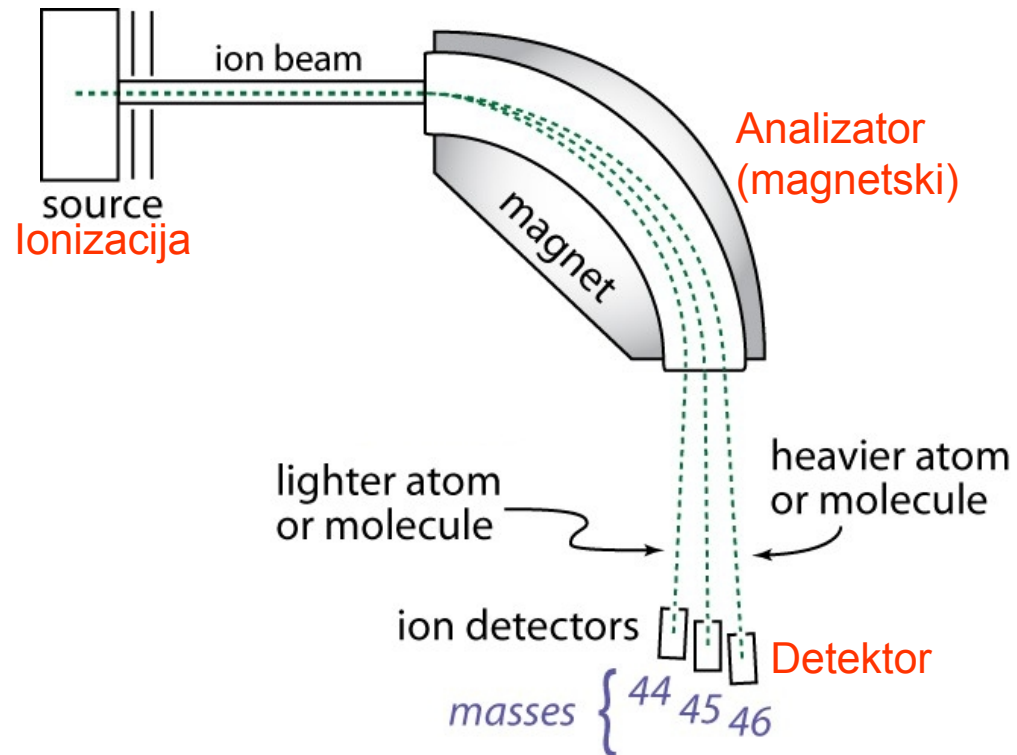
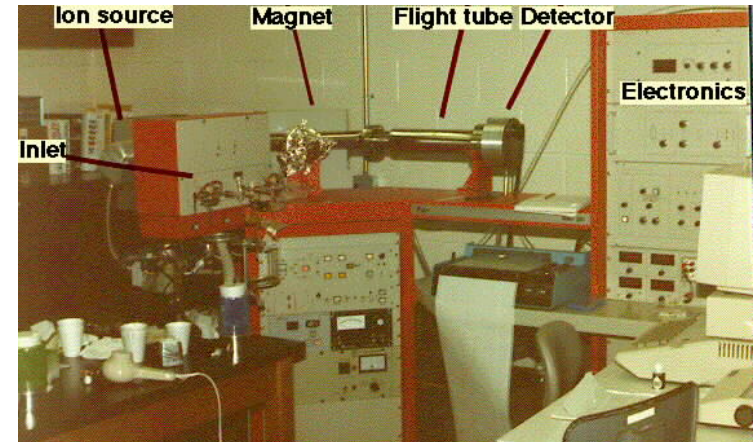
V - napon

v – brzina

m – masa izotopa

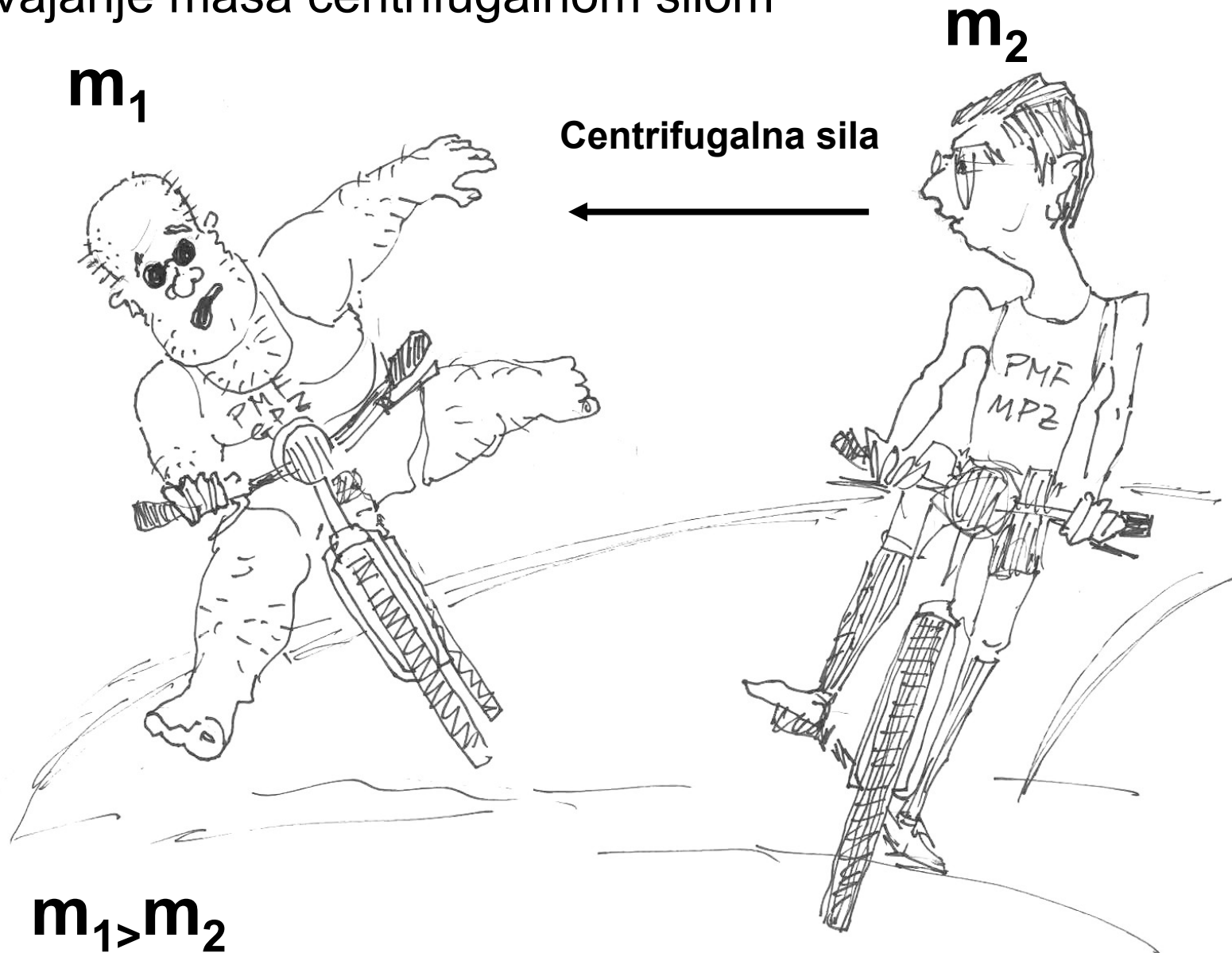
r – radijus zakrivljenosti putanje iona

B – jakost magnetskog polja



Masena spektrometrija

Razdvajanje masa centrifugalnom silom



Spektar masa stroncijevih izotopa

