U-Th-Pb radioaktivni sustav

U-Th-Pb sistematika

U, Th i Pb su visoko inkompatibilni elementi pa se koncentriraju u materijalima Kore, a osiromašeni (depleted) su u Plaštu.
(U i Th imaju izrazito visoku valenciju a Pb iznimno veliki ionski radijus)

Ionski radijusi i valencije U, Th i Pb u mineralima

Element	Charge	Radius (Å)
U	+4 (+6) oxic	1.05
Th	+4	1.10
Pb	+2	1.32

Material	**U(ppm)**	**Th**	**Pb**
Chondrites	0.01	0.04	1.0
Troilite	.009	<.01	5.9
Basalt	0.43	1.6	3.7
Galena	trace	trace	HUGE
Zircon	HUGE	HUGE	trace
Carbonates	1.9	1.2	5.6
Seawater (surface)	3 ppb	20 fg/g	2.7 pg/g
Seawater (deep)	3 ppb	60 fg/g	5 pg/g

Torij stabilan u valenciji Th^{4+}, olovo kao Pb^{2+} .

Galenit, PbS

Geokemija urana

Karnotit,
$K_2(UO_2)_2V_2O_8 \cdot 3(H_2O)$

Colorado plateau,
Uranska ležišta

$U^{4+} + H_2O + 1/2O_2 \rightarrow (UO_2)^{2+} + 2H^+$

Djelovanjem kisika i vode reduktivni oblik urana (4+) oksidacijom prelazi u 6+ a hidrolizom u uranil $(UO2)^{2+}$ ion.

U, Th u mineralima i stijenama

Apatit, $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$

Monacit, $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$

Torit, $ThSiO_4$

Torijanit, ThO_2

Ksenotim, YPO_4

Titanit, $CaTiSiO_5$

Sadržaj urana, torija i olova u magmatskim i sedimentnim stijenama

Table 12.1 **Average Concentrations of U, Th, and Pb in Igneous and Sedimentary Rocks (Turekian and Wedepohl, 1961)**

ROCK TYPE	U ppm	Th ppm	Pb ppm	Th/U	U/Pb
Low-Ca granite	3.0	17.	19.	5.7	0.16
High-Ca granite	3.0	8.5	15.	2.8	0.20
Syenite	3.0	13.	12.	4.3	0.25
Basaltic rocks	1.0	4.0	6.	4.0	0.17
Ultramafics	0.001	0.004	1.0	4.0	0.001
Shale	3.7	12.	20.	3.3	0.18
Sandstone	0.45	1.7	7.	3.8	1.73
Carbonates	2.2	1.7	9.	0.77	0.24
Deep sea clay	1.3	7.	80.	5.4	0.016

Betafit, $(Ca,U)_2(Ti,Nb,Ta)_2O_6(OH)$

Rössing, najveće U-ležište na Svijetu u granitoidima, Namibija

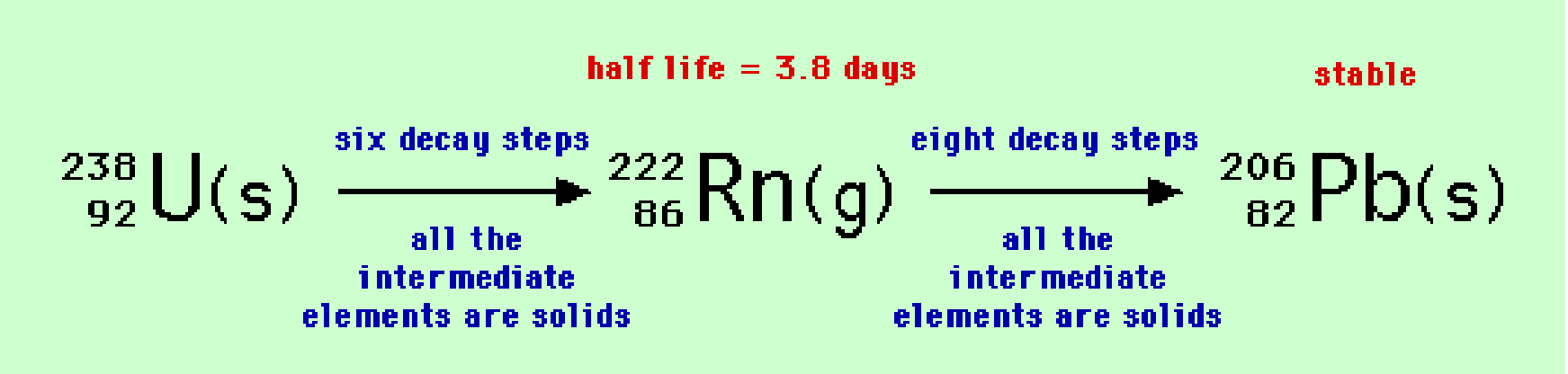
Radioaktivni raspad urana i torija

Table 12.2 Abundances, Half-Lives, and Decay Constants of the Principal Naturally Occurring Isotopes of Uranium and Thorium

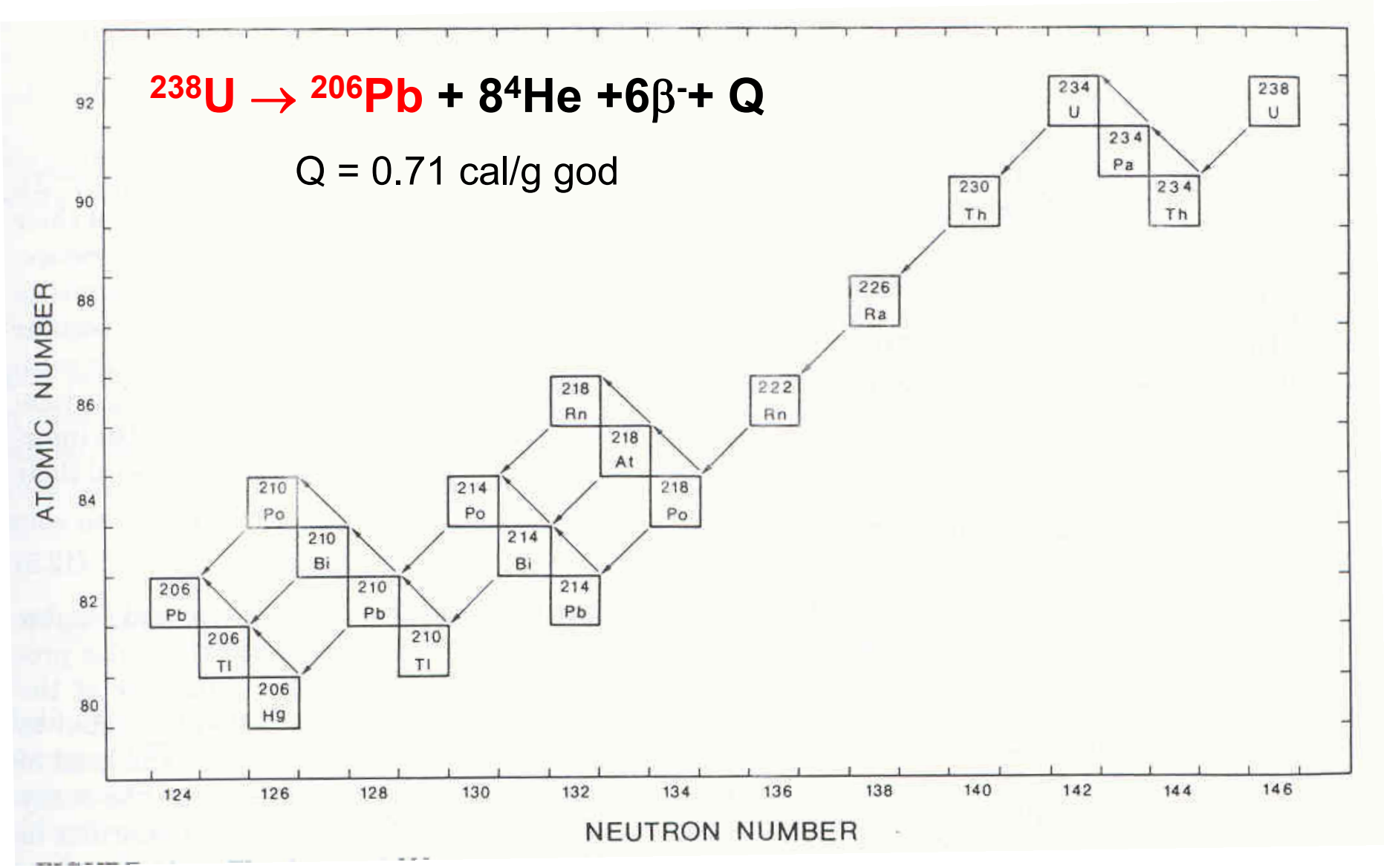
ISOTOPE	ABUNDANCE %	HALF-LIFE y	DECAY CONSTANT y^{-1}	REFERENCE
^{238}U	99.2739	4.510×10^9	1.537×10^{-10}	1
		4.468×10^9	1.55125×10^{-10}	2
^{235}U	0.7204	0.7129×10^9	9.722×10^{-10}	3
		0.7038×10^9	9.8485×10^{-10}	2
^{234}U	0.0057	2.48×10^5	2.806×10^{-6}	4
^{232}Th	100	13.890×10^9	4.990×10^{-11}	5
		14.008×10^9	4.948×10^{-11}	6

1. Kovarik and Adams (1955)
2. Jaffey et al. (1971)
3. Fleming et al. (1952)
4. Strominger et al. (1958)
5. Picciotto and Wilgain (1956)
6. LeRoux and Glendenin (1963)

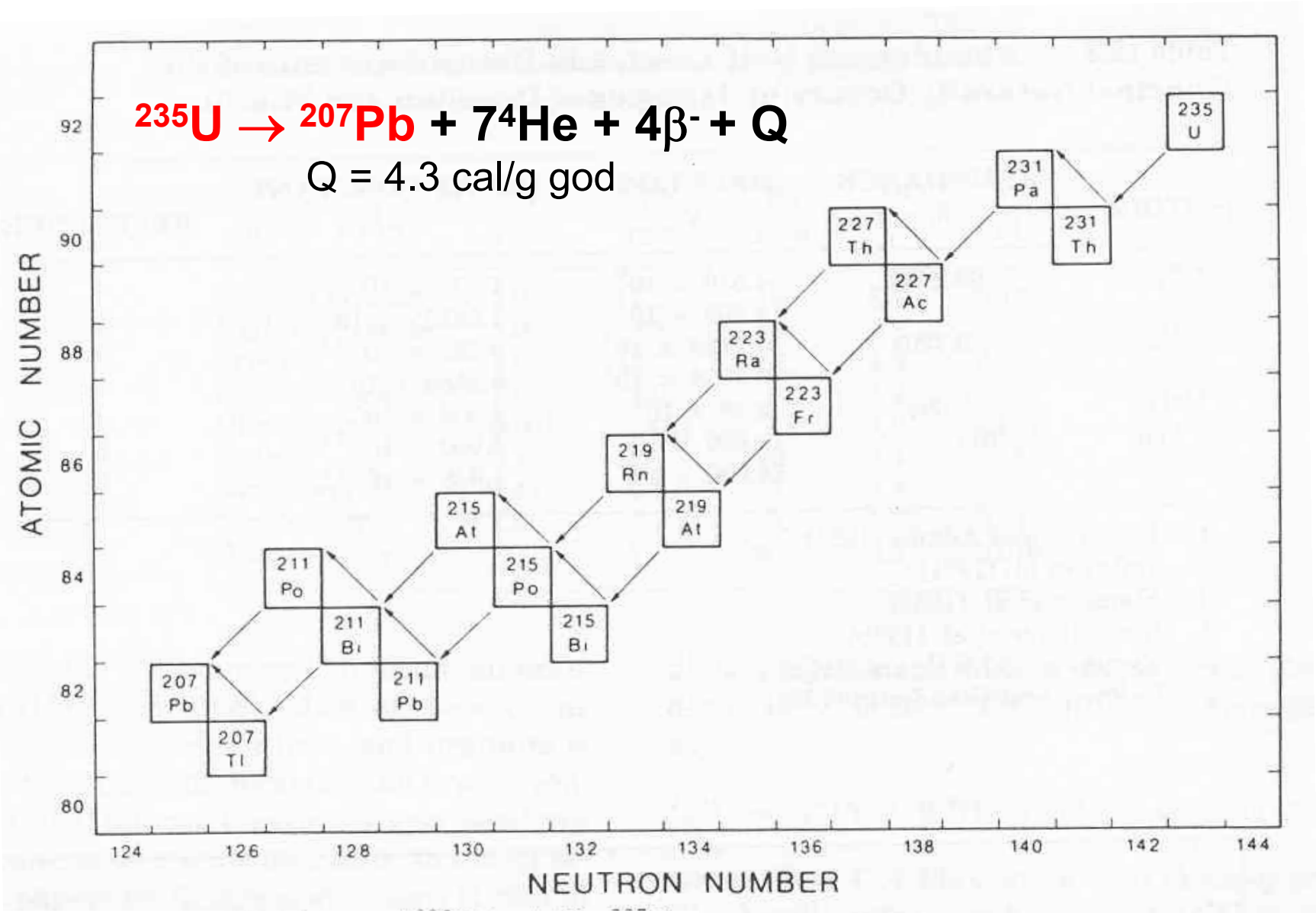
Rasprostranjenje, poluživot, konstanta radioaktivnog raspada glavnih, prirodno zastupljenih izotopa urana i torija



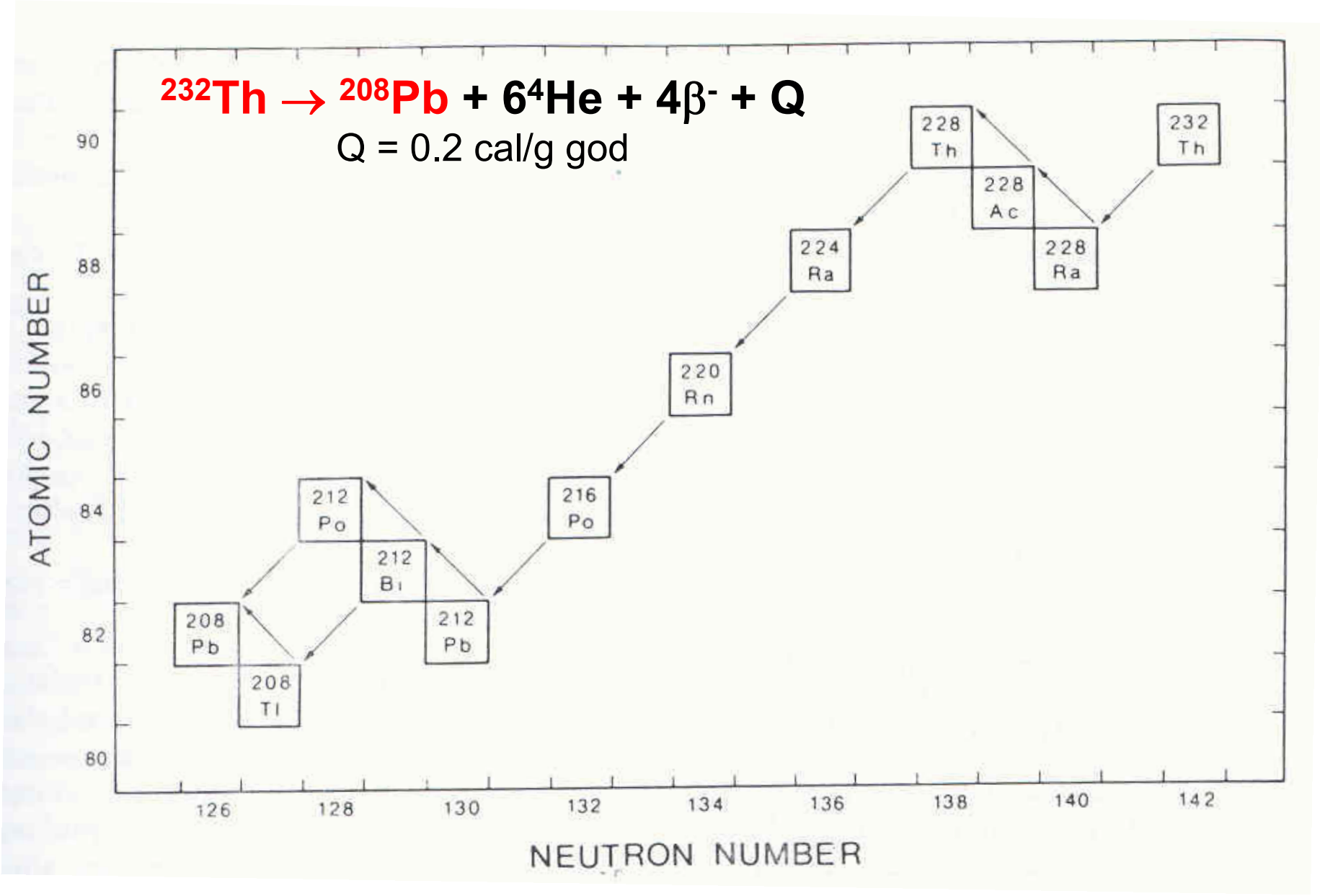
Tablica radioaktivnog raspadanja ^{238}U



Tablica radioaktivnog raspada ^{235}U

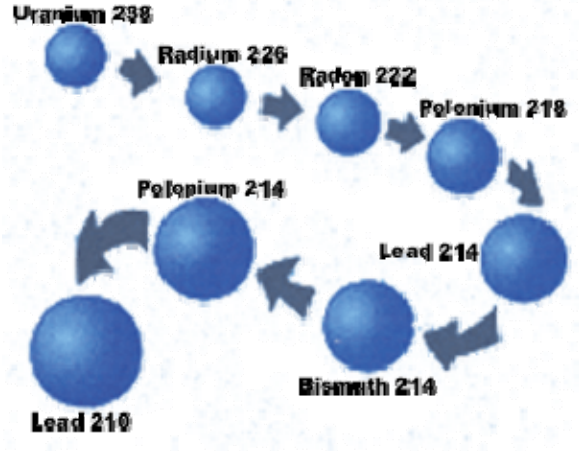


Tablica radioaktivnog raspada ^{232}Th



Sekularna ravnoteža

Uvjet za točno određivanje starosti je *sekularna ravnoteža* i neporemećeni radioaktivni niz s nekim geološkim ili geokemijskim događajem

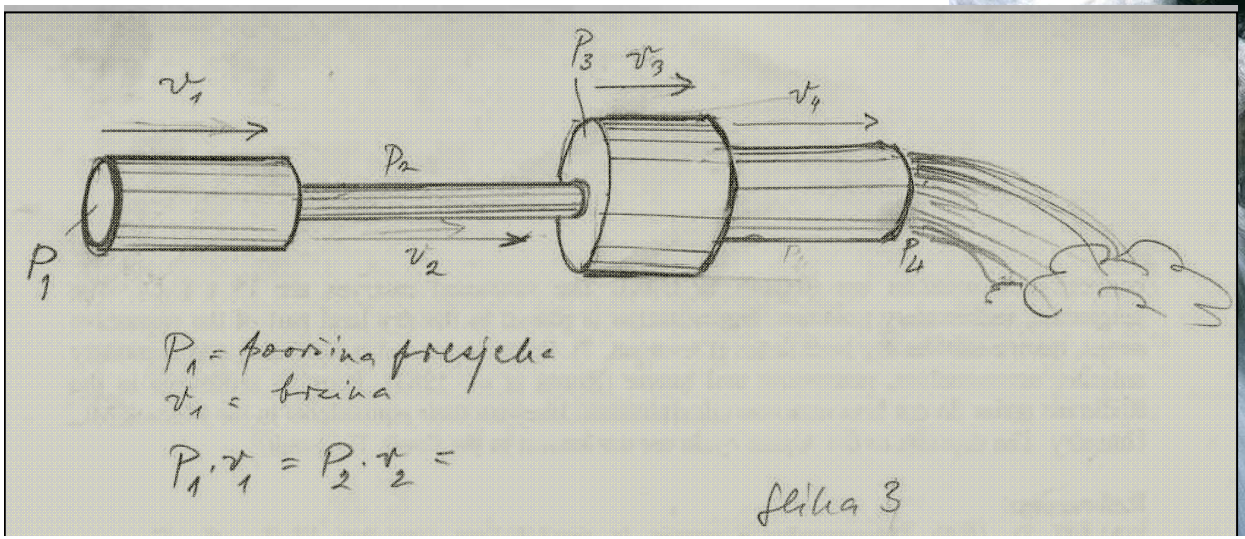


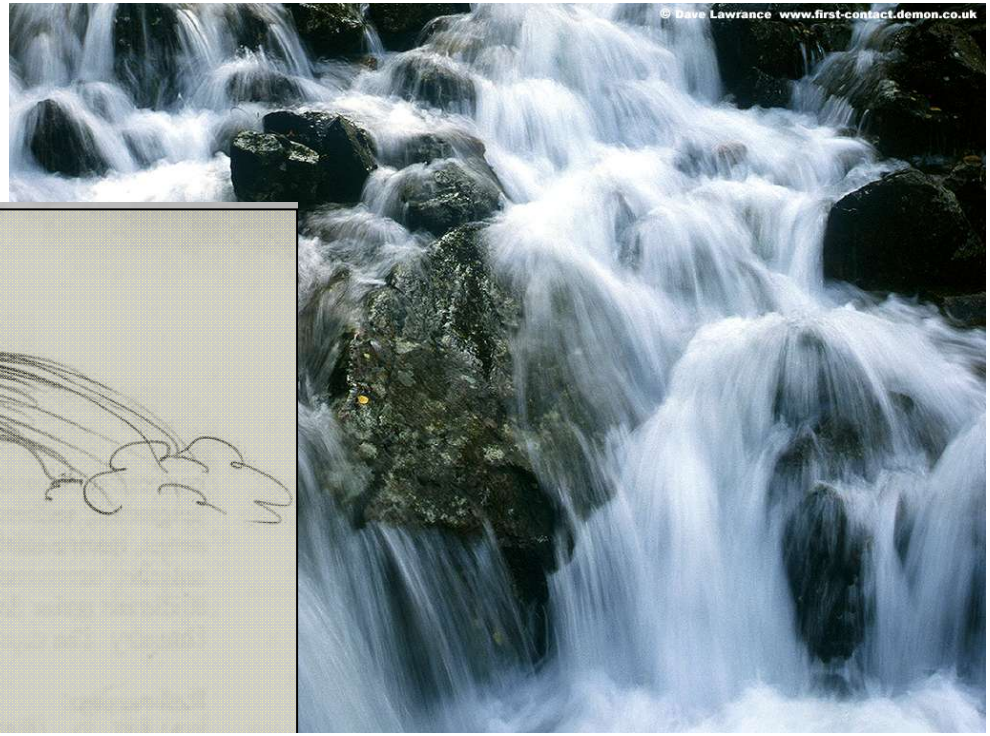
$$N_1\lambda_1 = N_2\lambda_2 = N_3\lambda_3 = \ldots\ldots\ldots\ldots = N_{18}\lambda_{18}$$

Usporedivo sa protokom vode kroz cijevi različitih promjera

$$P_1v_1 = P_2v_2 = P_3v_3 = P_4v_4$$

P = površina presjeka
v= brzina vode





Sekularna ravnoteža

Ako je $T_{1/2}$ roditelja >>> $T_{1/2}$ djece:
na primjer: ^{238}U, $T_{1/2} = 4.510 \times 10^9$ god. , a najduži $T_{1/2}$ radioaktivnog djeteta $^{234}U = 2.48 \times 10^5$ god.

Onda možemo aproksimirati:

$$^{238}U \rightarrow {}^{206}Pb$$

$$^{235}U \rightarrow {}^{207}Pb$$

$$^{232}Th \rightarrow {}^{208}Pb$$

Olovo ima četri izotopa:
Tri stabilna ^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb i
radioaktivni $^{204}Pb \rightarrow 200$ Hg ($T_{1/2} = 10^{17}$ god. !!! pa ga tretiramo kao stabilnog)

U-Th-Pb vremenske jednadžbe

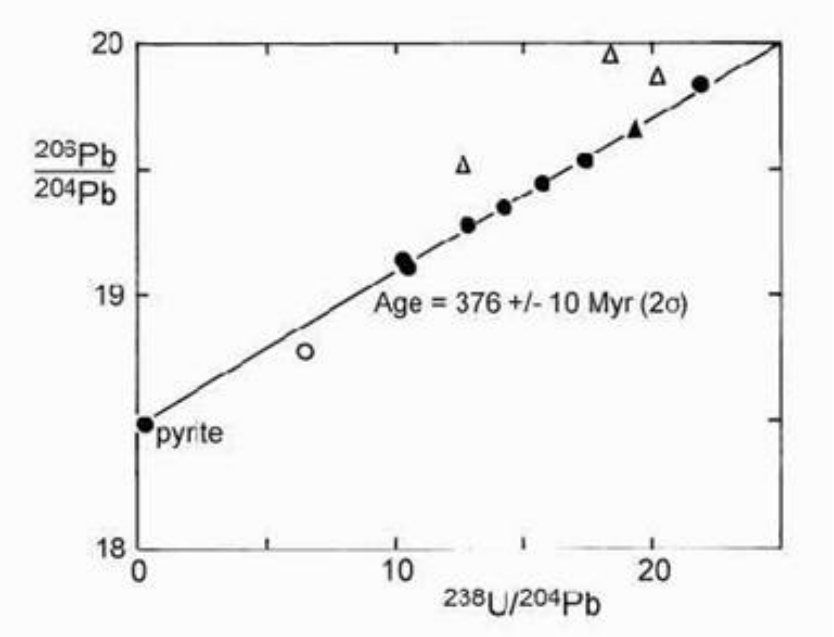
Modelne starosti:

$$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb} = \left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{238}U}{^{204}Pb}(e^{\lambda t} - 1)$$

$$\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb} = \left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{235}U}{^{204}Pb}(e^{\lambda t} - 1)$$

$$\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb} = \left(\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{232}Th}{^{204}Pb}(e^{\lambda t} - 1)$$

* Olovo ^{204}Pb korišteno kao referentni izotop



After Smith and Farquhar (1989)

Starosti iz sva tri sistema se mogu podudarati, zovemo ih KONKORDANTE starosti.

Uvjerljivije starosti se postižu metodom «izokrone»

If $x=(^{238}U/^{1204}Pb)_m$
And $y=(^{206}Pb/^{204}Pb)_m$
We have $y=b+mx$

Where intercept $b=(^{206}Pb/^{204}Pb)_i$
And slope $m=(e^{\lambda t}-1)$

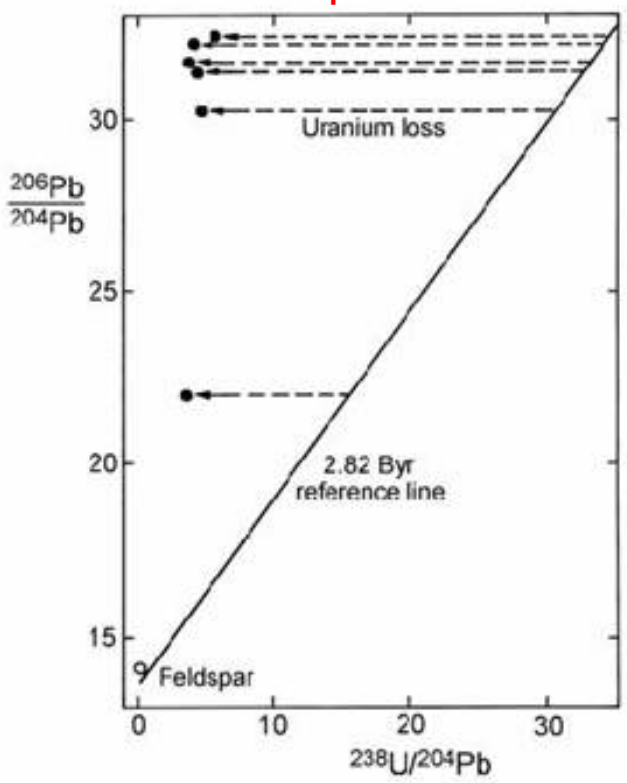
U-Th-Pb vremenske jednadžbe

Ponašanje otvorenog sustava

Problem:

Koji procesi mogu U-Th-Pb sustav učiniti DISKORDANTNIM?

Simptomi



Th-Pb starost = 2.82 Ga ali ^{238}U-^{206}Pb starost izmijenjena je zbog gubitka urana.

Rješenje

Koristeći činjenicu da postoje **dva** radioaktivna izotopa U, sa svojom vlastitom djecom, ...i da je $^{238}U/^{235}U$ = 137.88 u današnje vrijeme, kombiniramo ^{235}U i ^{238}U radioaktivne jednadžbe u:

$$\frac{\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)-\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_i}{\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)-\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_i}=\frac{1}{137.88}\left(\frac{e^{\lambda_5 t}-1}{e^{\lambda_8 t}-1}\right)$$

*** ova jednadžba vrijedi za gubitak Pb ili U u današnje vrijeme.**

Opaska:

Jednadžba spada u transcedentalne jednadžbe i ne može se riješiti za t, rješenje je moguće grafički ili iterativnim putem uz prvu predpostavljenu vrijednost smanjujući postupno razliku prema pravoj vrijednosti.

Evolucija radiogenog ($^{207}Pb/^{206}Pb$)* za različite vrijednosti t

$$\left(\frac{^{207}Pb}{^{206}Pb}\right)^{*} = \frac{1}{137.88}\left(\frac{e^{\lambda_5 t}-1}{e^{\lambda_8 t}-1}\right)$$

Rješenje transcendentalne jednadžbe

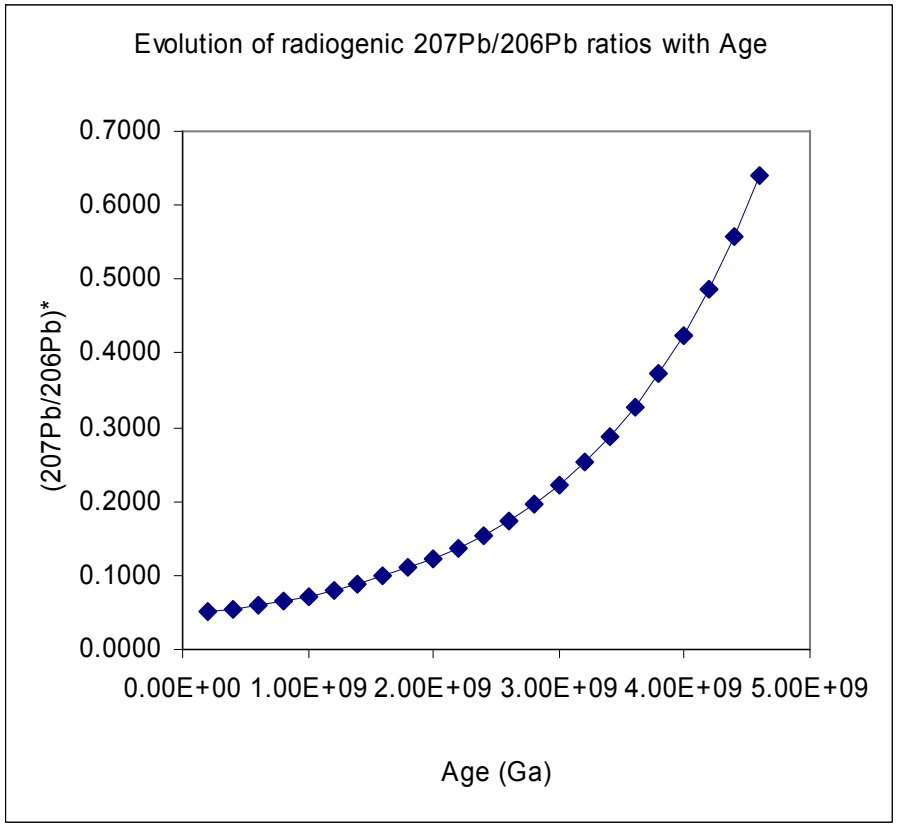


Table of ($^{207}Pb/^{206}Pb$)* values for different t

Age (yr)	num	den	207Pb/206Pb
0	--	--	--
2.00E+08	0.22	0.03	0.0501
4.00E+08	0.48	0.06	0.0547
6.00E+08	0.81	0.10	0.0599
8.00E+08	1.20	0.13	0.0658
1.00E+09	1.68	0.17	0.0725
1.20E+09	2.26	0.20	0.0801
1.40E+09	2.97	0.24	0.0888
1.60E+09	3.83	0.28	0.0987
1.80E+09	4.89	0.32	0.1101
2.00E+09	6.17	0.36	0.1230
2.20E+09	7.73	0.41	0.1379
2.40E+09	9.63	0.45	0.1549
2.60E+09	11.95	0.50	0.1744
2.80E+09	14.76	0.54	0.1969
3.00E+09	18.20	0.59	0.2227
3.20E+09	22.38	0.64	0.2525
3.40E+09	27.46	0.69	0.2868
3.60E+09	33.66	0.75	0.3265
3.80E+09	41.21	0.80	0.3723
4.00E+09	50.40	0.86	0.4252
4.20E+09	61.59	0.92	0.4864
4.40E+09	75.22	0.98	0.5574
4.60E+09	91.81	1.04	0.6396

What is the ratio of (207Pb/206Pb)* at t=0?

Pb-Pb izokrone

Geokrona ili starost meteorita i Zemlje

Canyon Diablo meteorit

Patterson (1956) testirao predpostavku da su:

1. **Meteoriti i Zemlja nastali u isto vrijeme**

2. **Pb izotopi u meteoritu predstavnici «cijelo-zemljinog» (bulk-earth) Pb odnosa.**

Pb-Pb izokrone

Geokrona ili starost meteorita i Zemlje

$$\frac{\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)-\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_i}{\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)-\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_i}=\frac{1}{137.88}\left(\frac{e^{\lambda_5 t}-1}{e^{\lambda_8 t}-1}\right)$$

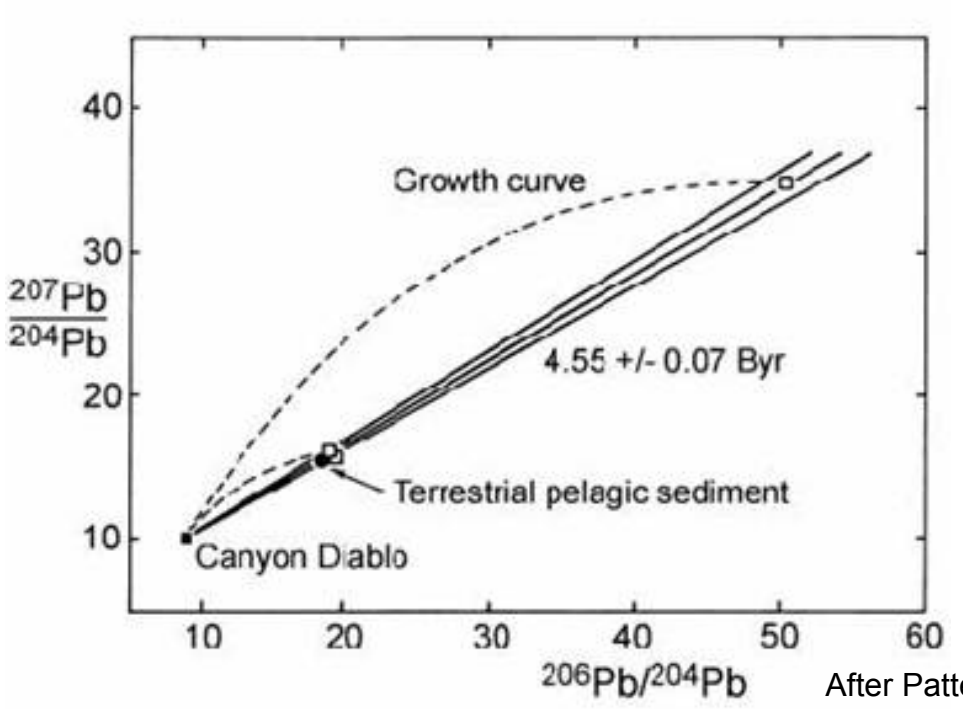
If $x=(^{206}Pb/^{204}Pb)_m$

And $y=(^{207}Pb/^{204}Pb)_m$

We have $y=mx+(y_0+x_0)$

Where (y_0,x_0)*=primordial Pb isotopic composition*

And slope $$m=\frac{1}{137.88}\left(\frac{e^{\lambda_5 t}-1}{e^{\lambda_8 t}-1}\right)$$



After Patterson (1956)

Pb-Pb izokrone

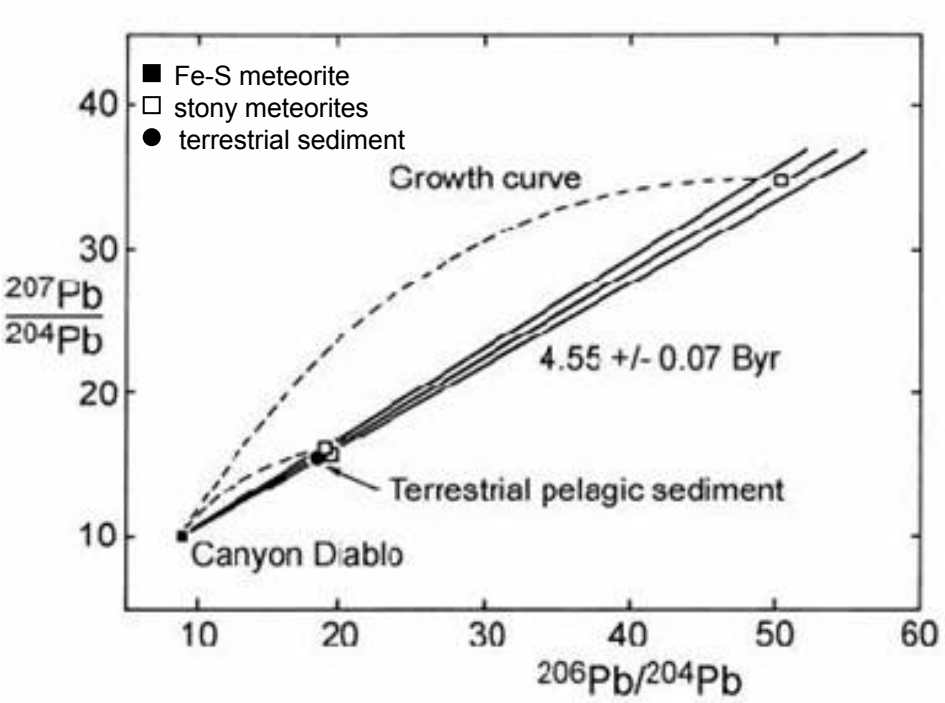
Geokrona ili starost meteorita i Zemlje

$$(^{207}Pb/^{204}Pb - b_o)/(^{207}Pb/^{204}Pb - a_o) = 1/137.8\ [(e^{\lambda T} - 1)/(e^{\lambda T} - 1)]$$

a_o, b_o = $^{207}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ Praiskonsko olovo

T = starost Zemlje, $4.55 \pm 0.07 \times 10^9$ god.

$\lambda_1 = 1.537 \times 10^{-10}$, $\lambda_2 = 9.72 \times 10^{-10}$ god.



Isotopni odnosi u Canyon Diablo meteoritu:

$^{206}Pb/^{204}Pb$	9.3066
$^{207}Pb/^{204}Pb$	10.293
$^{208}Pb/^{204}Pb$	29.475

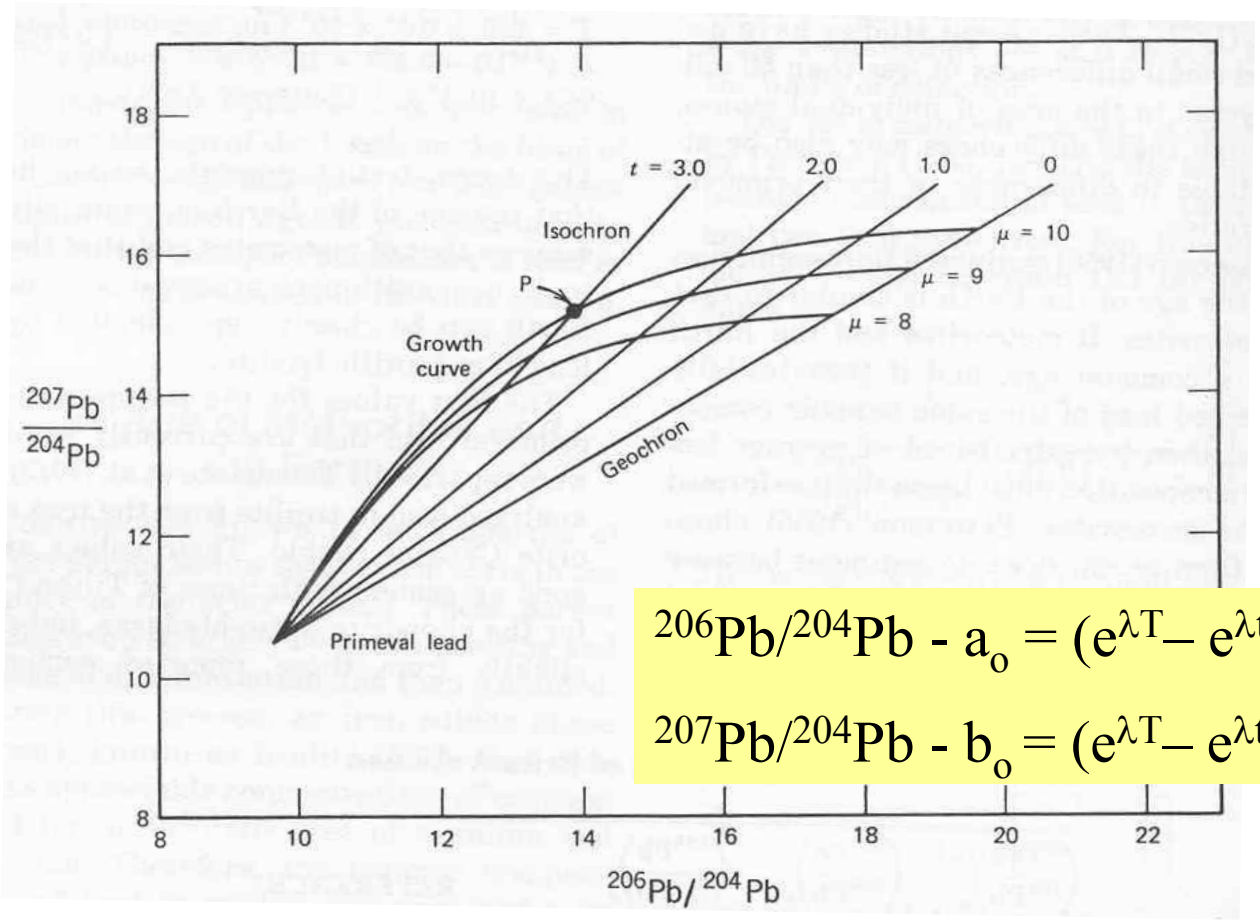
Metoda «zajedničkog» olova

Common lead model

Holmes-Houtermanov model jednostupnog razvoja Pb izotopa na Zemlji

Datiranje «zajedničkog» olova:

Grafička prezentacija Holmes-Houtermanova modela



$$m = \frac{1}{137,8}\left[\frac{e^{\lambda 2T} - e^{\lambda 2t}}{e^{\lambda 1T} - e^{\lambda 1t}}\right]$$

za t=0

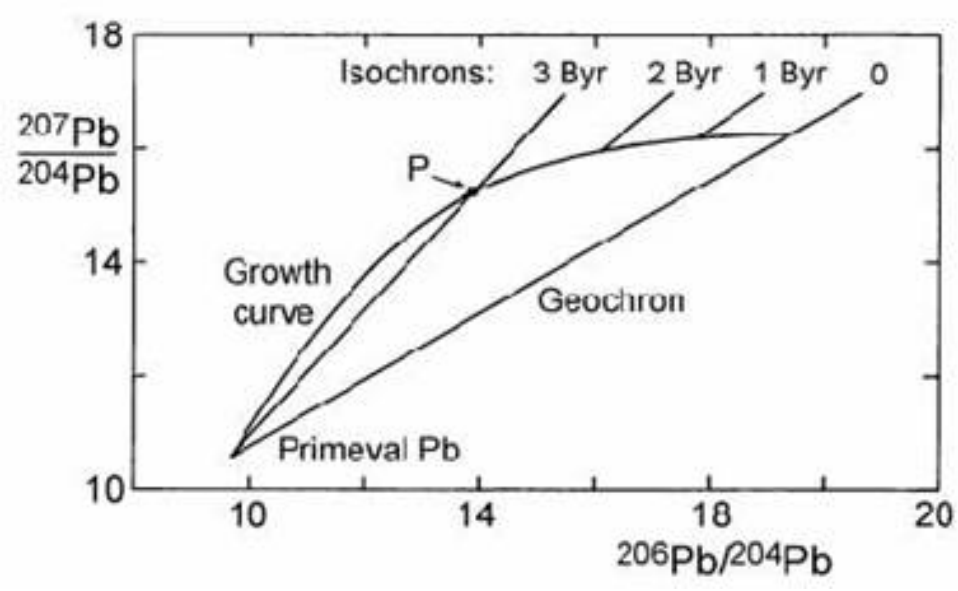
$$m = \frac{1}{137,8}\left[\frac{e^{\lambda 2T} - 1}{e^{\lambda 1T} - 1}\right]$$

geokrona

$$^{206}Pb/^{204}Pb - a_o = (e^{\lambda T} - e^{\lambda t}) \qquad ^{238}U/^{204}Pb = \mu$$

$$^{207}Pb/^{204}Pb - b_o = (e^{\lambda T} - e^{\lambda t}) \qquad ^{235}U/^{204}Pb = \mu/137.8$$

Metoda «zajedničkog» olova
Common lead model



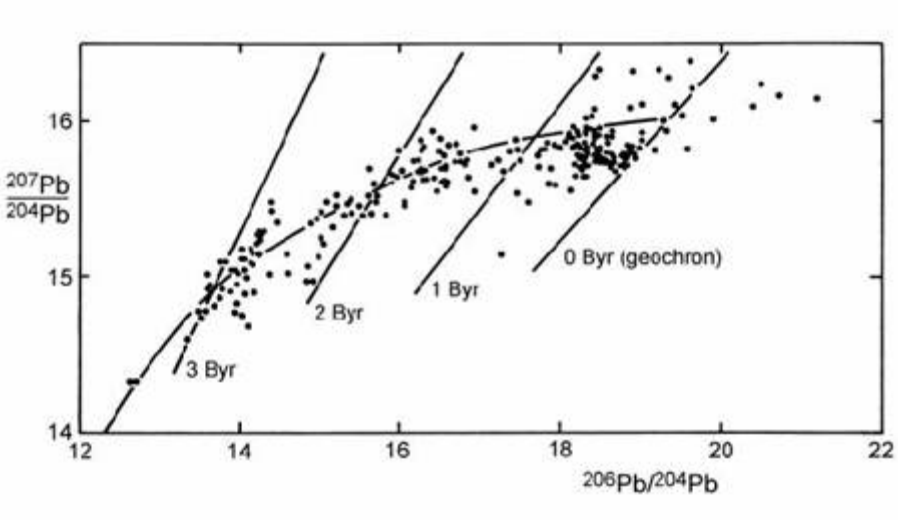
Interpretations:

1) All galenas that formed at 3Ga, regardless of the μ of their sources, will plot on an isochron.
2) For t=0 (present), Geochron: all single-stage galenas and meteorites plot on it.
3) Note that given an age and isotope ratios, one can calculate μ from:

$$\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_t = \left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{238}U}{^{204}Pb}\left(e^{\lambda T} - e^{\lambda t}\right)$$

Table for slope (m) for common lead isochrons:

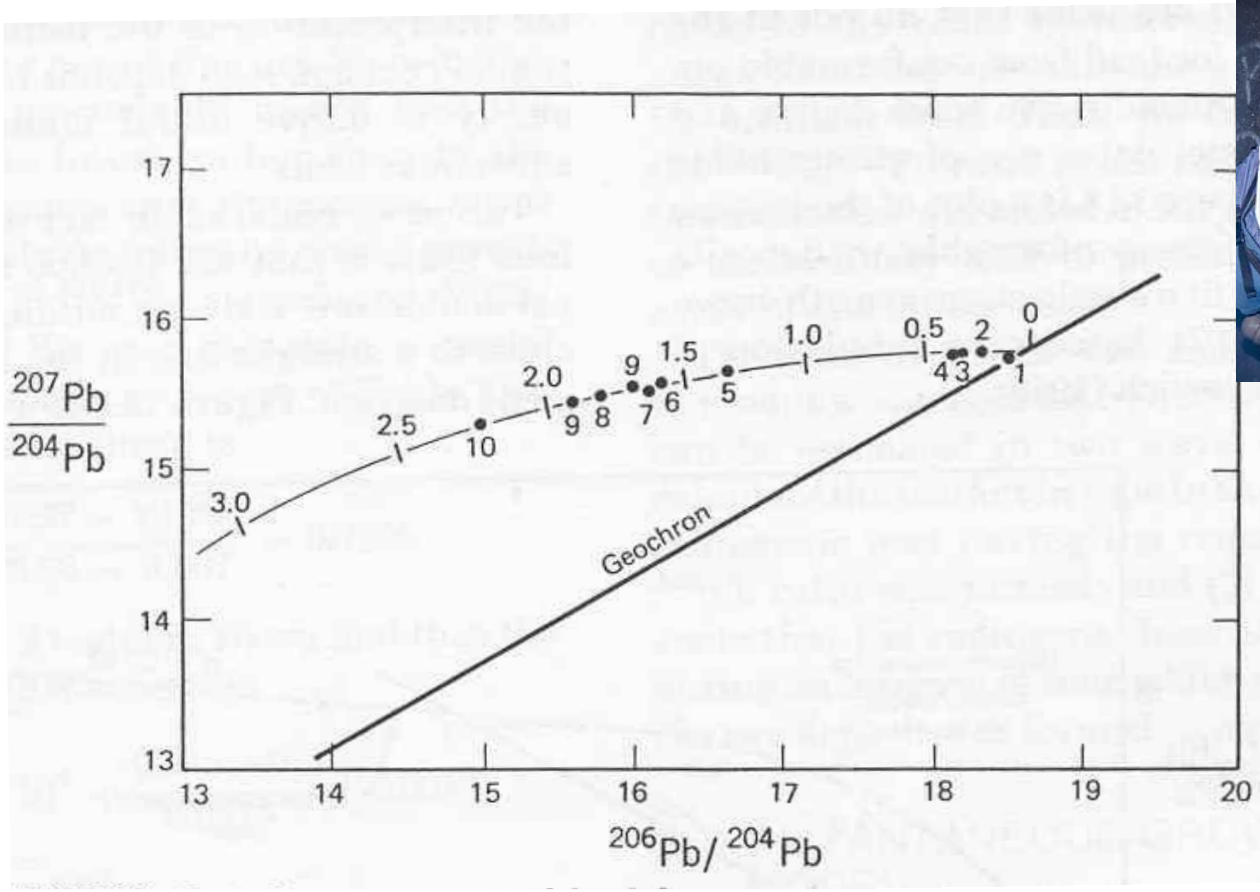
Age (yr)	207/206
0	0.618169
4.00E+08	0.636182
8.00E+08	0.655694
1.20E+09	0.676866
1.60E+09	0.699881
2.00E+09	0.724947
2.40E+09	0.752297
2.80E+09	0.782196
3.20E+09	0.814944
3.60E+09	0.850883
4.00E+09	0.8904
4.40E+09	0.933938
4.80E+09	0.981999

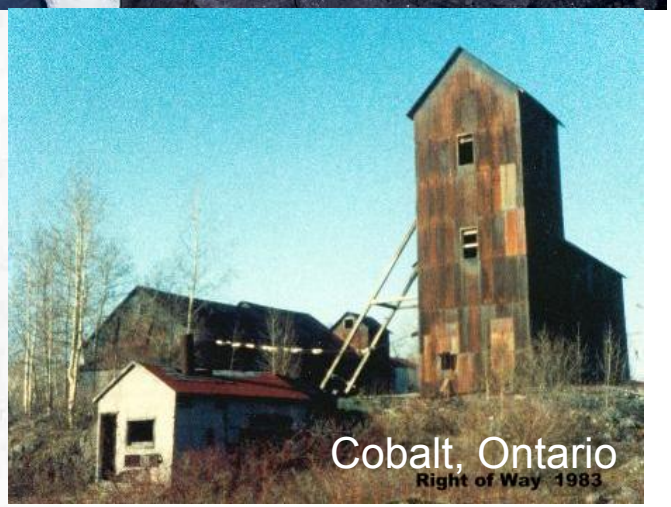


Izotopni sastav olova iz konkordantnih ležišta sulfida

Prve analize ukazivale na podrijetlo olova iz Plašta

(ležišta Bathurst, Kanada; Cobar, Australija; Sullivan Mine, Kanada; Mt. Isa, Australija, Broken Hill, Australija, Cobalt, Ontario i dr.)

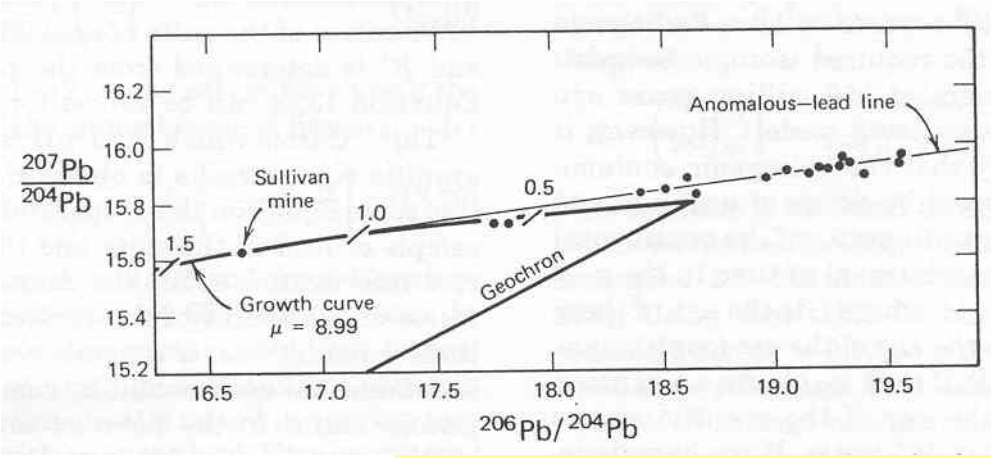




«Anomalno» olovo

Anomalno olovo iz Kootenay Arca, Brittish Columbia

Linija anomalnog olova ležišta Kootenay Arc, Kanada, leži izvan redovnog olova na liniji jednostupnog rasta.



Interpretacija:

1. **Trenutni rast** (malo vjerojatan)

Pb izvučeno iz rezervoara u vremenu t =1.8 x10^9 god. i zatim mješano s olovom karakterističnim za Sullivan rudno ležište 1.33 x 10^9 izraslo jednostupnim rastom sa μ = 9.0

$$R = (^{207}Pb/^{206}Pb)^* = 1/137.8 \cdot (e^{\lambda 2t}/ e^{\lambda 1t})(\lambda_2/ \lambda_2)$$

$$t = 1/(\lambda_2 - \lambda_1) \ln [137.8\, R\lambda_1/\lambda_2]$$

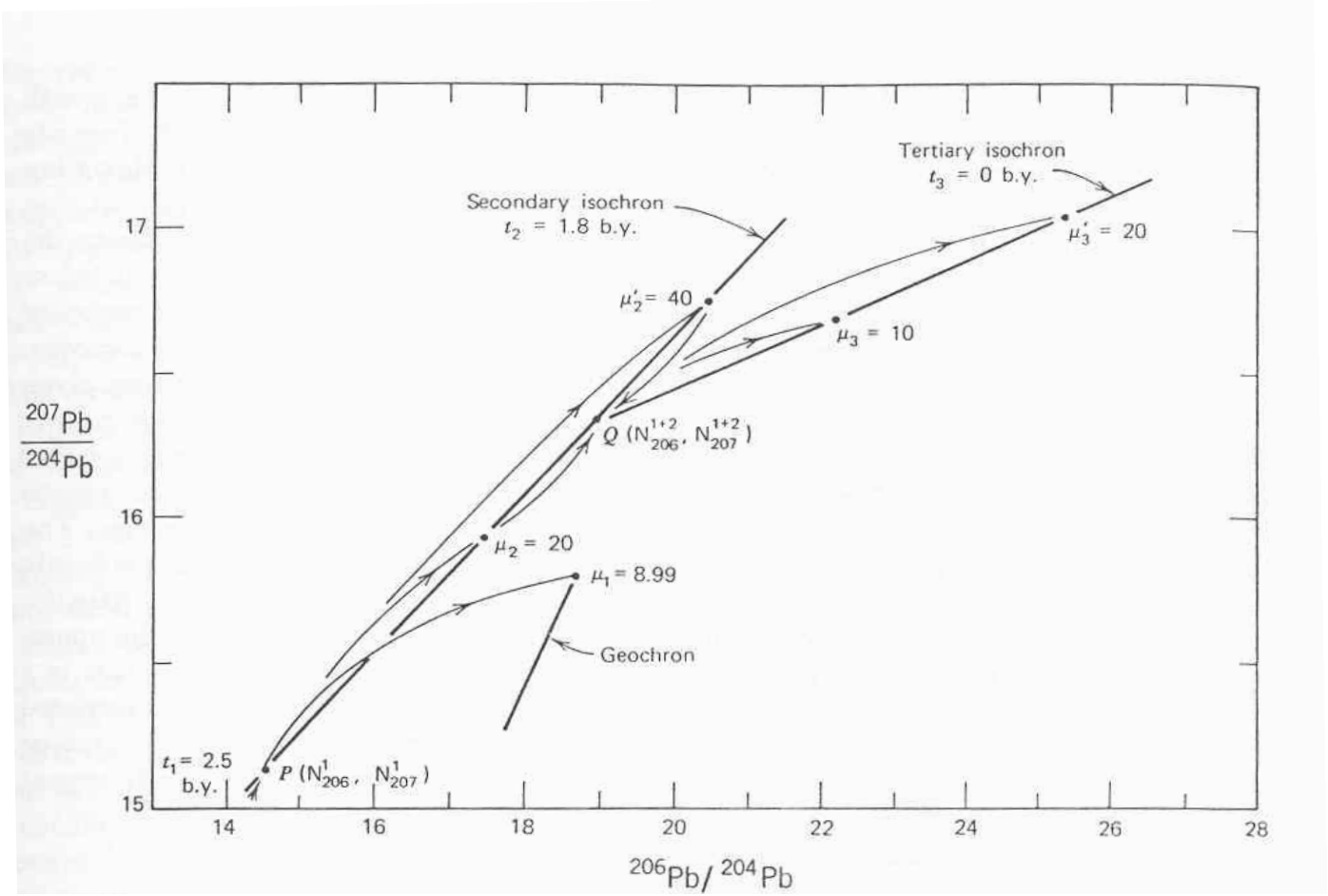
2. Model kontinuiranog rasta, Pb je izvučeno iz granitnih stijena koje su stare t_r a rudno ležište je nastalo u vrijeme t.

$$R = (^{206}Pb/^{204}Pb)^* = 1/137.8 \cdot (e^{\lambda tr} - e^{\lambda t})/(e^{\lambda tr} - e^{\lambda t})$$

Metoda «zajedničkog» olova

Common lead model

Interpretacija više-stupnog olova

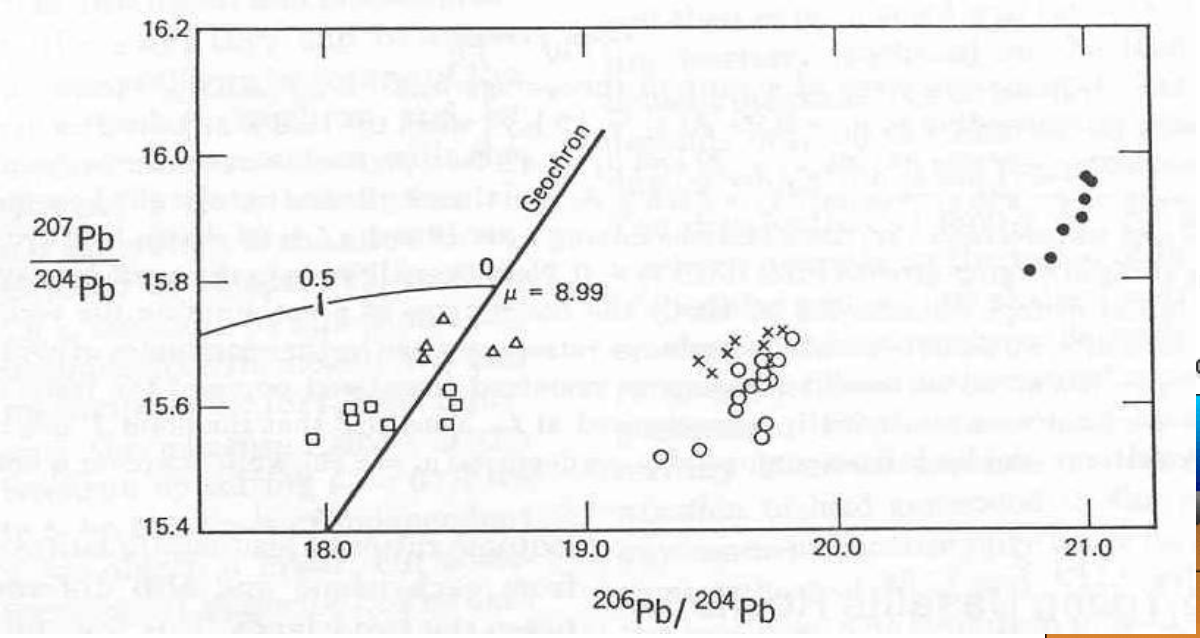


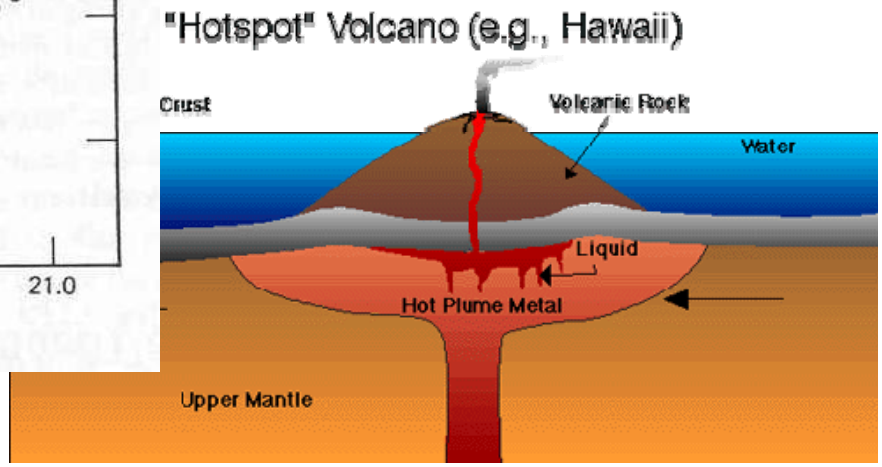
Tri-stupanjsko olovo

Izotopska evolucija olova u tri stupnja (premještaj iz prvog rezearvoara u drugi i treći s različitim μ vrijednostima ($^{238}U/^{204}Pb$)

Metoda «zajedničkog» olova
Common lead model

«Anomalno» olovo Izotopni sastav olova u mladim vulkanskim stijenama





× Ascension otoci, O Tenerife, Kanarski otoci,
● St. Helena otok, □ Hawajski otoci, Δ Gough otoci

Izotopni sastav olova mladih vulkanskih stijena na oceanskim otocima pokazuje anomalne vrijednosti. To je evidencija heterogenosti Plašta (U/Pb), izvora magme na oceanskim otocima. Podaci ukazuju na otvorenost sustava tijekom geološkog vremena, tj. više-stupni razvoj.

U-Pb konkordija

Zatvoren sustav


cirkon

Konkordia, linija konkordantnih vrijednosti $^{206}Pb/^{238}U$ i $^{207}Pb/^{235}U$

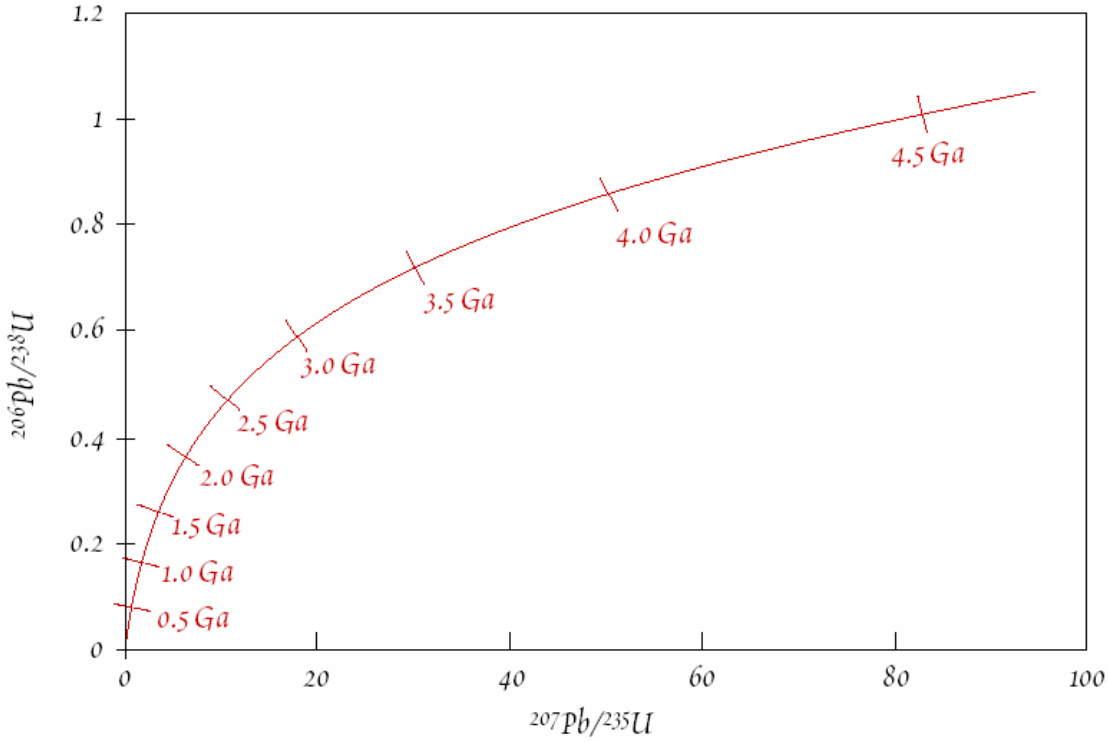
Pretpostavke:

1. Kod t = 0 (kristalizacija), oba kvocijenta = 0
2. Sustav se razvija neporemećen tako dugo dok ostaje zatvoren za U i Pb.
3. Oba kvocijenta mogu poslužiti za računanje starosti

$$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb} = \left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{238}U}{^{204}Pb}(e^{\lambda t} - 1)$$

$$\frac{^{206}Pb^*}{^{238}U} = (e^{\lambda_8 t} - 1)$$

$$\frac{^{207}Pb^*}{^{235}U} = (e^{\lambda_5 t} - 1)$$



U-Pb diskordija

Otvoren sustav

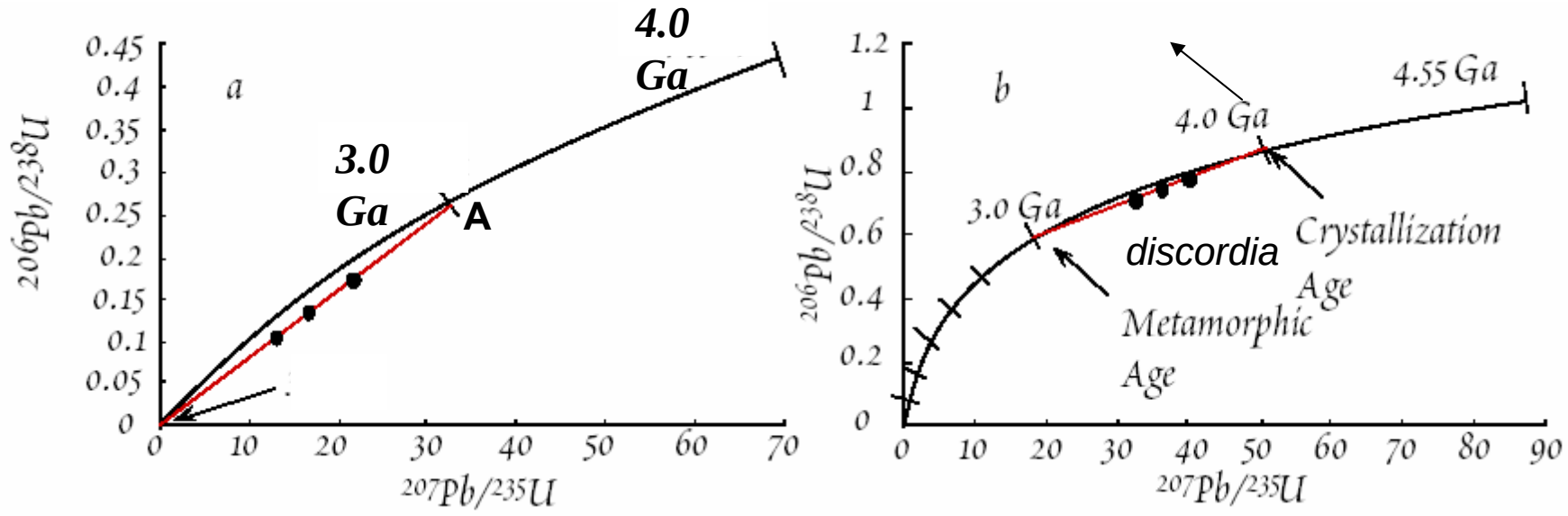
Pitanje:

Što ako se tijekom metamorfizma Pb gubi (vrlo često)?

Diskordija za cirkon nastao 4.0 Ga a doživio metamorfizam prije 3 Ga

Gubitak Pb prije 3 Ga (3 milijarde godina) pomiče uzorke iz točke A prema ishodištu. Potpuni gubitak pomaknuo bi uzorke u ishodište, (otvoren sustav, reset).

Ako uzorak ostaje zatvoren od trenutka metamorfizma do sadašnjice, uzorci prate diskordiju (pravac) između 3 Ga (metamorfizam) i 4 Ga (kristalizacija).



Diskordija definirana izmijenjenim uzorcima presječi će Konkordiju u vremenu kristalizacije i vremenu metamorfizma.

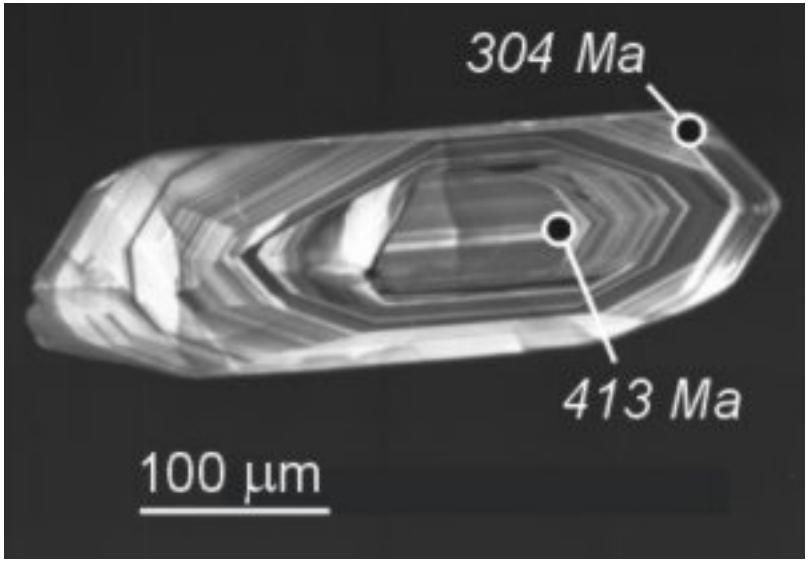
U-Pb diskordija

Otvoren sustav

Pitanje:

Što ako uzorak prolazi kroz nekoliko metamorfizama (višestruki metamorfizam)?

Linija diskordija postaje zakrivljena, kontinuirani difuzioni gubitak Pb iz U bogatih minerala. Za više struko metamorfoziranje ne koristimo metodu Konkordije.



Pitanje:

Kako bi izgledala diskordija ako je 413 Ma godina stari cirkona, djelomično «resetiran» (izmjenjen) i uklopljen u 304 Ma staru taljevinu?

a) ako se izotopi olova i urana pri tome homogeniziraju?

b) ako nova taljevina proizvodi cirkonski priraštajni omotač?

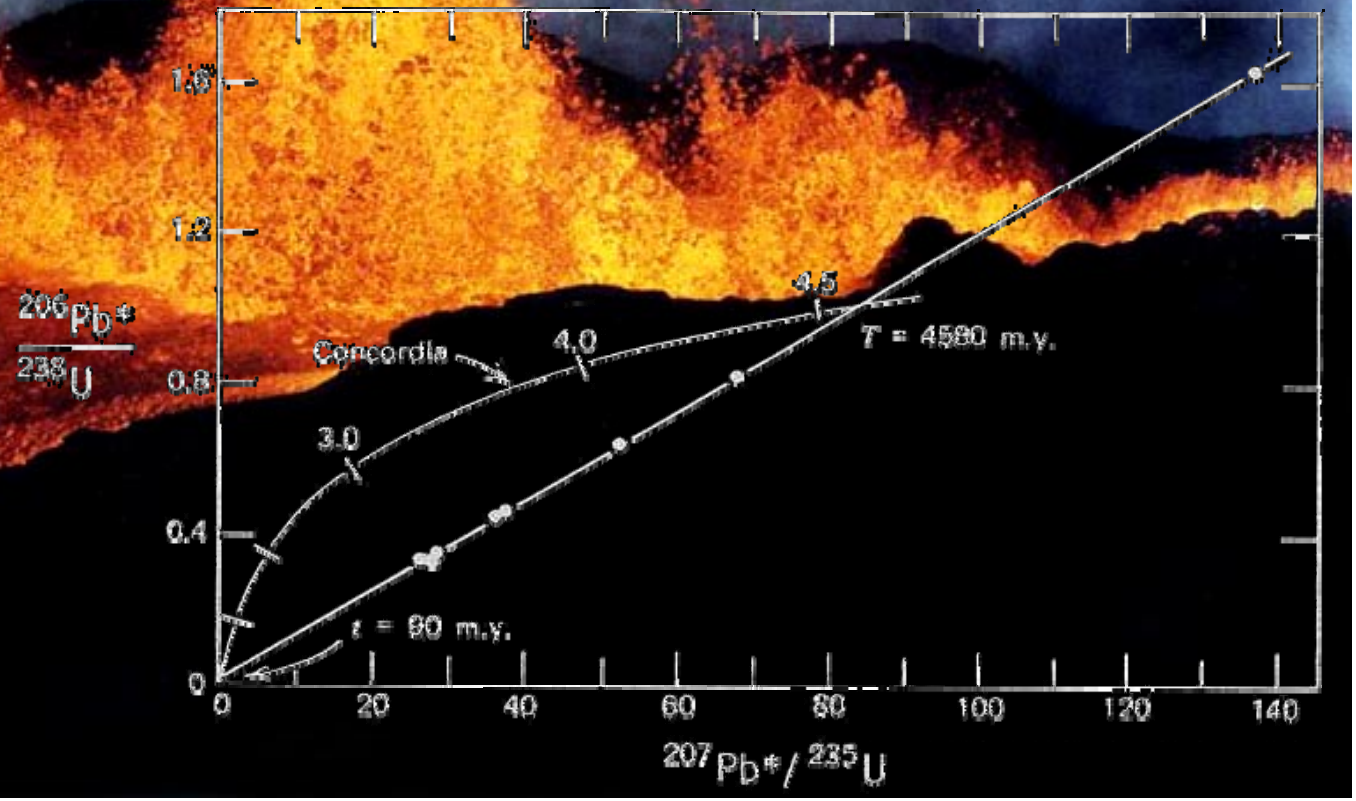
U-Pb diskordija

Otvoren sustav

Pitanje:

Kako bi izgledala diskordija ako se tijekom kemijskog trošenja gubio uran prije 4 Ga?

Izotopni razvoj olova u vulkanskim stijenama Hawaiia. Konkordija upučuje na starost rezervoara olova 4580 Ma a presjecište u donjem dijelu konkordije na «nedavnu» heterogenizaciju Plašta iz kojeg dolazi magma (90 Ma).



Hawaii

U-Pb diskordija

Otvoren sustav

MORB bazalti daju starost Plašta diskordijom 4480 do 4580 Ma. Za Tihi ocean heterogenost nastupa između 0 i 220 Ma, a za Atlanski ocean taj se događaj zbio prije1230 Ma.

Island

Pb-izotopi
Sansko-unski paleozoik

- Doe-Stacy model rasta (Brdo/Adamuša) pokazuje vrijednost od oko 240 Ma (PALINKAŠ, 1985)