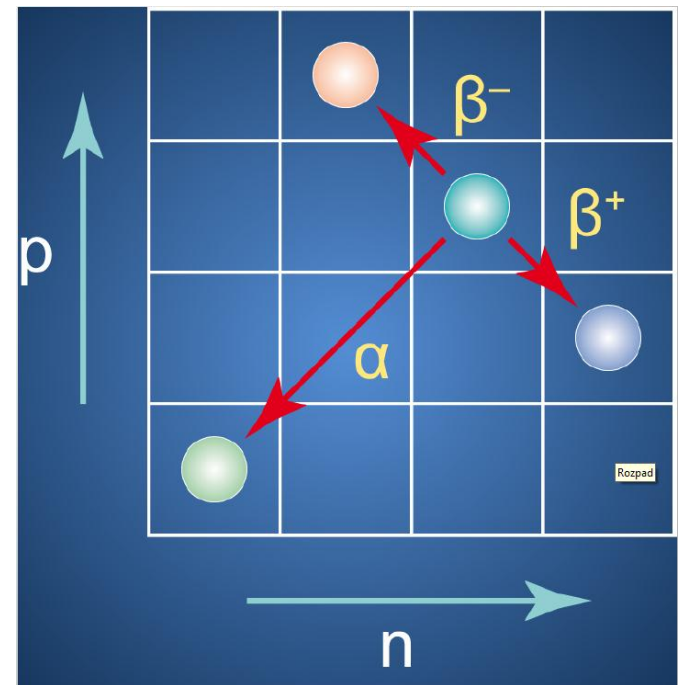




Základní výpočty v izotopové geochemii

Základní výpočty v izotopové geochemii

- Opakování:
 α rozpad – typický pro nejtěžší nuklidy; emitování α - částice (jádro atomu helia; ${}^4\text{He}$); nukleonové číslo $A-4$, protonové číslo $Z-2$
 β rozpad – jádro nuklidu emituje elektron nebo pozitron (pozitron je antičástice k elektronu); nukleonové číslo zůstává, protonové číslo $+1$
- Poločas rozpadu ($\tau_{1/2}$): je doba, za kterou se přemění polovina celkového počtu jader ve vzorku. Pro konkrétní izotop je vždy konstantní.
- Rozpadová konstanta (λ): udává pravděpodobnost rozpadu radioaktivního jádra atomu za jednotku času



Základní výpočty v izotopové geochemii

H																		He
Li	Be																	
Na	Mg																	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac																

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U											

Sm	Radioactive (Parent)
Os	Radiogenic (Daughter)
Rn	Radiogenic and Radioactive

Parent	Decay mode	λ	Half-life	Daughter	Ratio
^{40}K	β^- , e.c, β^+	$5.5492 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$	$1.28 \times 10^9 \text{ yr}$	^{40}Ar , ^{40}Ca	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$
^{87}Rb	β^-	$1.42 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$	$48.8 \times 10^9 \text{ yr}$	^{87}Sr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
^{138}La	β^-	$2.67 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$	$2.59 \times 10^{11} \text{ yr}$	^{138}Ce , ^{138}Ba	$^{138}\text{Ce}/^{142}\text{Ce}$, $^{138}\text{Ce}/^{136}\text{Ce}$
^{147}Sm	α	$6.54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$	$1.06 \times 10^{11} \text{ yr}$	^{143}Nd	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
^{176}Lu	β^-	$1.867 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$	$3.6 \times 10^{10} \text{ yr}$	^{176}Hf	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$
^{187}Re	β^-	$1.64 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$	$4.23 \times 10^{10} \text{ yr}$	^{187}Os	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$, ($^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$)
^{190}Pt	α	$1.54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$	$4.50 \times 10^{11} \text{ yr}$	^{186}Os	$^{186}\text{Os}/^{188}\text{Os}$
^{232}Th	α	$4.948 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$	$1.4 \times 10^{10} \text{ yr}$	^{208}Pb , ^4He	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$
^{235}U	α	$9.8571 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$	$7.07 \times 10^8 \text{ yr}$	^{207}Pb , ^4He	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$
^{238}U	α	$1.55125 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$	$4.47 \times 10^9 \text{ yr}$	^{206}Pb , ^4He	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$

Rychlost radioaktivního rozpadu

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

Integrací... $\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt$

... Získáme vztah $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$

Ze kterého můžeme vyjádřit okamžitý počet atomů ve vzorku

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

Poločas rozpadu $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$

Na rozpad nemají vliv ani výchozí počet částic, teplota, tlak, ani chemické vazby částic

Aktivita vzorku = počet přeměn za sekundu, tj. rychlost

$$A = dN/dt$$

Jednotkou je 1 becquerel (1 Bq = 1 s⁻¹)

Rychlost radioaktivního rozpadu

$$D = P_0 - P$$

D – daughter, P – parent

$$D = Pe^{\lambda t} - P = P(e^{\lambda t} - 1)$$

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



Výchozí rovnice pro geochronologii – z měřitelného obsahu dvou látek můžeme určit stáří horniny

$${}^{87}\text{Rb} = {}^{87}\text{Sr} + e^{-}$$

$${}^{87}\text{Sr} = {}^{87}\text{Sr}_0 + {}^{87}\text{Rb}(e^{\lambda t} - 1)$$

$$\frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{86}\text{Sr}} = \frac{{}^{87}\text{Sr}_0}{{}^{86}\text{Sr}} + \frac{{}^{87}\text{Rb}}{{}^{86}\text{Sr}}(e^{\lambda t} - 1)$$

Příklady

Příklad 1:

- Izotopický poměr $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ zemského pláště je 0.7029 a jeho stáří 4,56 Ga. Určete $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$ za předpokladu, že jde o uzavřený systém jehož iniciální poměr $\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0$ je 0,7000.

$$\lambda(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$$

Příklady

Příklad 1:

- Izotopický poměr $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ zemského pláště je 0.7029 a jeho stáří 4,56 Ga. Určete $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$ za předpokladu, že jde o uzavřený systém jehož iniciální poměr $\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0$ je 0,7000.

$$\lambda(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11} \text{ y}^{-1}$$

$$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} = 0,04335$$

Příklady

Příklad 1:

- „Průměrná“ kontinentální kůra má poměr $\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} = 0,112$ a její stáří je 2,2 Ga. Za předpokladu že nově vznikající kůra má vždy $\epsilon\text{Nd} = 0$ (tedy chondritický poměr $\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$), určete průměrnou hodnotu ϵNd pro kontinentální kůru)

$$\epsilon\text{Nd} = \left[\frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{vzorek}} - \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}}}{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}}} \right] * 10000$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{\text{CHUR}} = 0,512634$$

$$\lambda(^{147}\text{Sm}) = 6.54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$$

Příklady

Příklad 1:

- „Průměrná“ kontinentální kůra má poměr $\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} = 0,112$ a její stáří je 2,2 Ga. Za předpokladu že nově vznikající kůra má vždy $\epsilon\text{Nd} = 0$ (tedy chondritický poměr $\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$), určete průměrnou hodnotu ϵNd pro kontinentální kůru)

$$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} = 0,51426$$

$$\epsilon\text{Nd} = 31,66206$$

Geochronologie

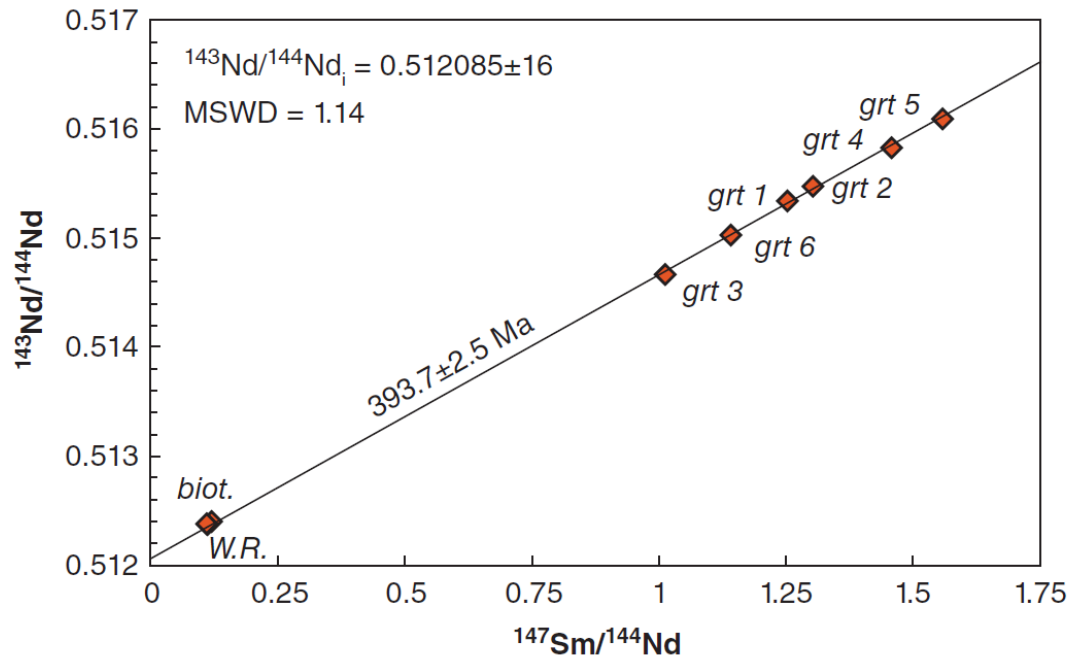
- Preferovaný způsob se zakládá na využití několika vzorků **stejného stáří a P_0** – **Isochronní datování**

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

$$\Delta D = \Delta P(e^{\lambda t} - 1)$$

$$\frac{\Delta D}{\Delta P} = e^{\lambda t} - 1$$

$$t = \frac{\ln\left(\frac{\Delta D}{\Delta P} + 1\right)}{\lambda}$$



Geochronologie

Name	Reaction	Decay constant/ y^{-1}	Half-life/ y	Applications [†]
K–Ar	$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar} + \beta^+ + \bar{\nu}$	$\lambda_{\text{Ar}} = 0.581 \times 10^{-10\text{§}}$	$1.250 \times 10^{9\text{§}}$	Geochronology of K-bearing minerals
	$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + \beta^- + \bar{\nu}$	$\lambda_{\text{Ca}} = 4.962 \times 10^{-10\text{§}}$		
Rb–Sr	$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr} + \beta^- + \bar{\nu}$	1.42×10^{-11}	4.88×10^{10}	Geochronology, seawater evolution, sediment correlation, magma genesis
Sm–Nd	$^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd} + \alpha^{2+}$	6.54×10^{-12}	1.060×10^{11}	Precambrian geochronology, sediment provenance, crustal and mantle evolution, stony meteorite and lunar studies, magma genesis
Lu–Hf	$^{176}\text{Lu} \rightarrow ^{176}\text{Hf} + \beta^- + \bar{\nu}$	1.94×10^{-11}	3.57×10^{10}	Geochronology, mantle evolution, crustal growth models
Re–Os	$^{187}\text{Re} \rightarrow ^{187}\text{Os} + \beta^- + \bar{\nu}$	1.666×10^{-11}	4.16×10^{10}	Geochronology including iron meteorites, mantle and lithosphere evolution
U–Th–Pb	$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha^{2+} + 4\beta^- + 4\bar{\nu}$	4.9475×10^{-11}	14.010×10^9	Geochronology, crustal evolution, meteorite studies, magma genesis
	$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7\alpha^{2+} + 4\beta^- + 4\bar{\nu}$	9.8485×10^{-10}	0.7038×10^9	
	$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha^{2+} + 6\beta^- + 6\bar{\nu}^*$	1.55125×10^{-10}	4.468×10^9	

[†] After Henderson and Henderson (2009).

[§] The combined rate constant λ is the sum of the two individual rate constants = $5.543 \times 10^{-10} \text{yr}^{-1}$. The concept of half-life is applicable only to the combined decay of ^{40}K .

Geochronologie

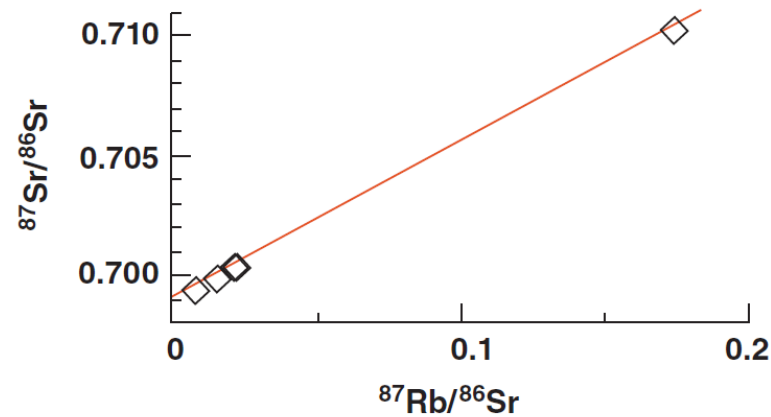


Figure 2.11 A Rb-Sr isochron. Five analyses from a clast in the Bholghati meteorite fall on an isochron, whose slope is related to the age of the system. The age in this case is 4.54 Ga. Data from Nyquist et al. (1990). (Source: White (2013). Reproduced with permission of John Wiley & Sons.)

Příklady

Příklad 3:

- Ve vzorku granitu byly zjištěny poměry $\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} = 0,51215$ a $\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} = 0,1342$.

Současné chondritické poměry jsou $\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR} = 0,512634$ a $\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR} = 0,1967$. Určete stáří horniny.

$$\lambda(^{147}\text{Sm}) = 6.54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$$

Příklady

Příklad 3:

- Ve vzorku granitu byly zjištěny poměry $\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} = 0,51215$ a $\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} = 0,1342$.

Současné chondritické poměry jsou $\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR} = 0,512634$ a $\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)_{CHUR} = 0,1967$. Určete stáří horniny.

$$\lambda(^{147}\text{Sm}) = 6.54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$$

$$\mathbf{t = 1,18 \text{ Ga}}$$