# Nestabilní (radiogenní) izotopy

# Vazebná energie jádra

proton: 1,007593 daltonů = 1,6726231×10$^{-27}$ kg

neutron: 1,008982 daltonů

elektron: 0,000548756 daltonů = 9,10093897×10$^{-31}$ kg

hmotnostní úbytek $\delta = W - M$

W – součet hmotností částic

M – hmotnost částic

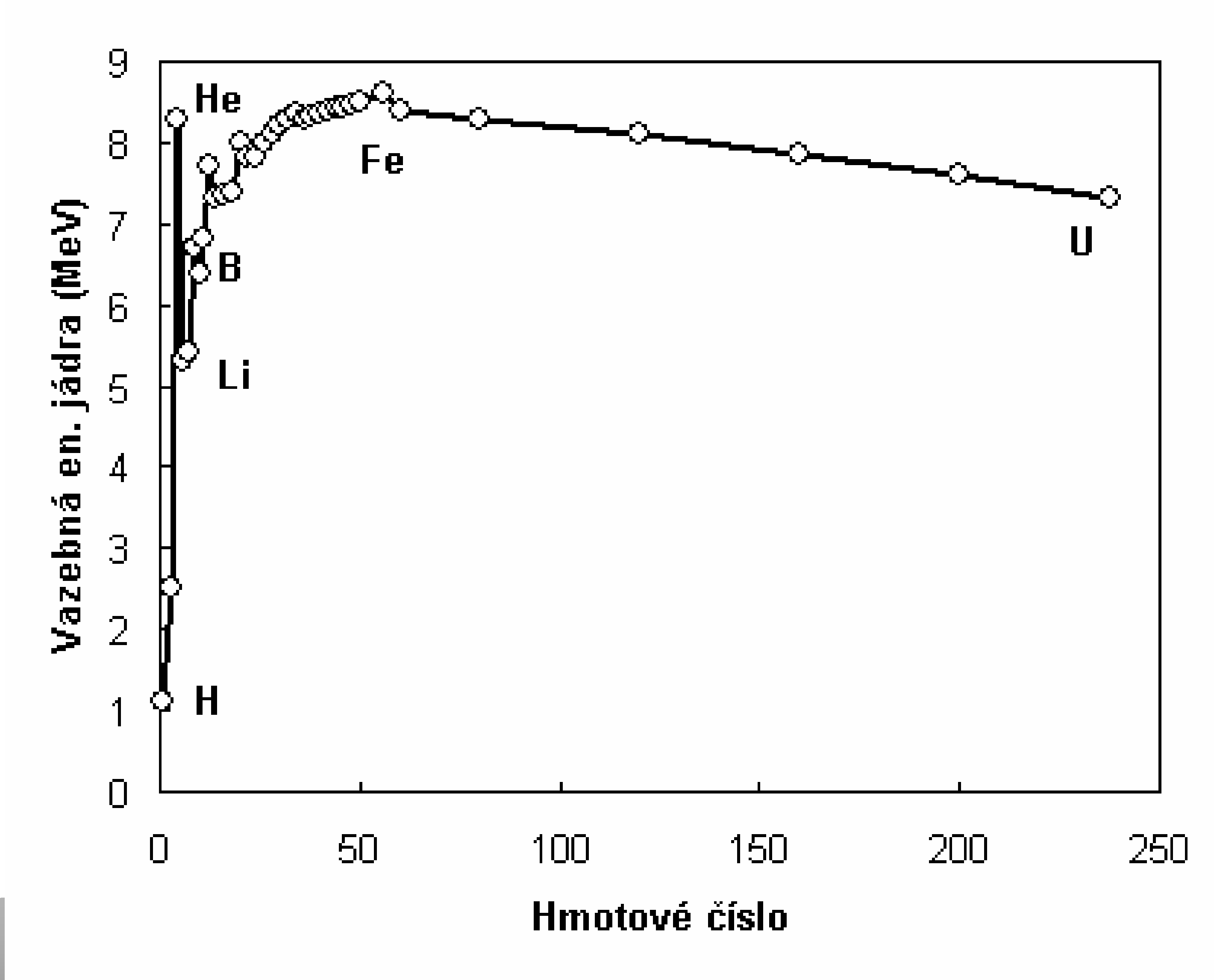
$^4He = 2m_p + 2m_n + 2m_e$ = 4,034248 daltonů

m($^4$He) = 4,003873 daltonů

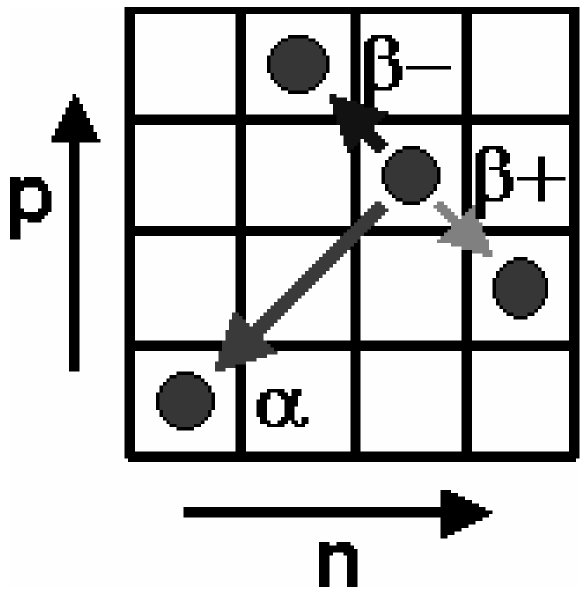
$\delta$ = 0,030375 daltonů (tj. 28,28 MeV – vazebná energie)

$E = m c^2$

# Vazebná energie jádra - graf



# Rozpad nestabilního a vybuzeného jádra




$dN/dt = - \lambda N$

γ– záření: $NX^* \rightarrow NX + \gamma$; $h\nu = Ee - E\gamma$

α–rozpad: $^{212}_{83}Bi \rightarrow {}^{208}_{81}Tl + \alpha$; $^{4}_{2}\alpha$

β–rozpad: $^{40}K \rightarrow {}^{40}Ca + e^-$; β–

záchyt elektronu: $^{40}K + e^- \rightarrow {}^{40}Ar$; β+

$^{40}K \rightarrow {}^{40}Ar + e^+$;

spontánní rozpad: $^{238}U \rightarrow$ 3 jádra (A 30–64) + x n

*fission track* datování

# Rychlost rozpadu

$dN/dt = -\lambda N$

$\int dN/N = \int -\lambda\, dt$

$\ln N/N_0 = -\lambda t$

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

Poločas rozpadu

$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

$D = P_0 - P$ (daughter, parent)

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

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

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

$^{87}Sr = {}^{87}Sr_0 + {}^{87}Rb (e^{\lambda t} - 1)$

$^{87}Sr/^{86}Sr = {}^{87}Sr_0/^{86}Sr + {}^{87}Rb/^{86}Sr (e^{\lambda t} - 1)$

# Geochronologie

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

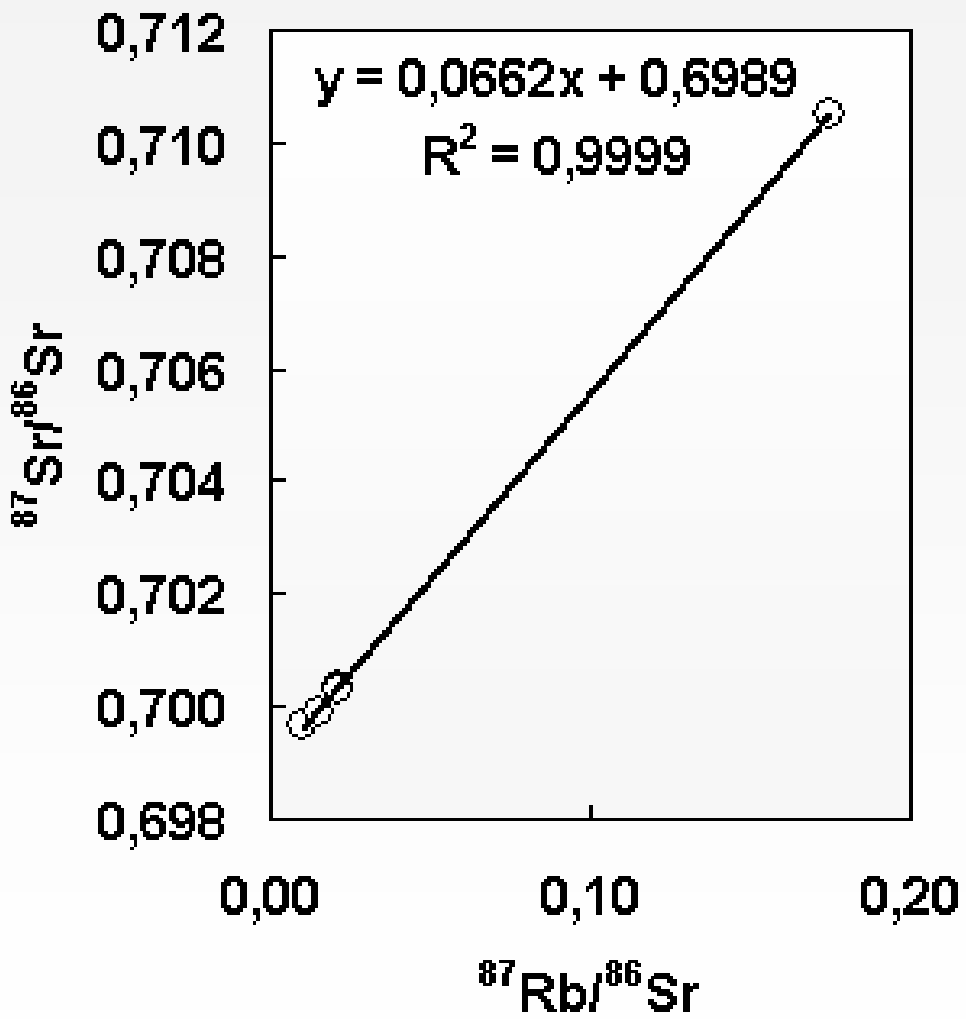
rovnice přímky

$y = a + b\,x$

$b = e^{\lambda t} - 1$

$t = 1/\lambda \ln (b + 1)$

$b = \Delta D/\Delta P$




Nyquist et al. (1990) – meteorit Bholghati – stáří Sluneční soustavy

$^{87}Sr/^{86}Sr = 0{,}6989 + 0{,}0662\ ^{87}Rb/^{86}Sr$

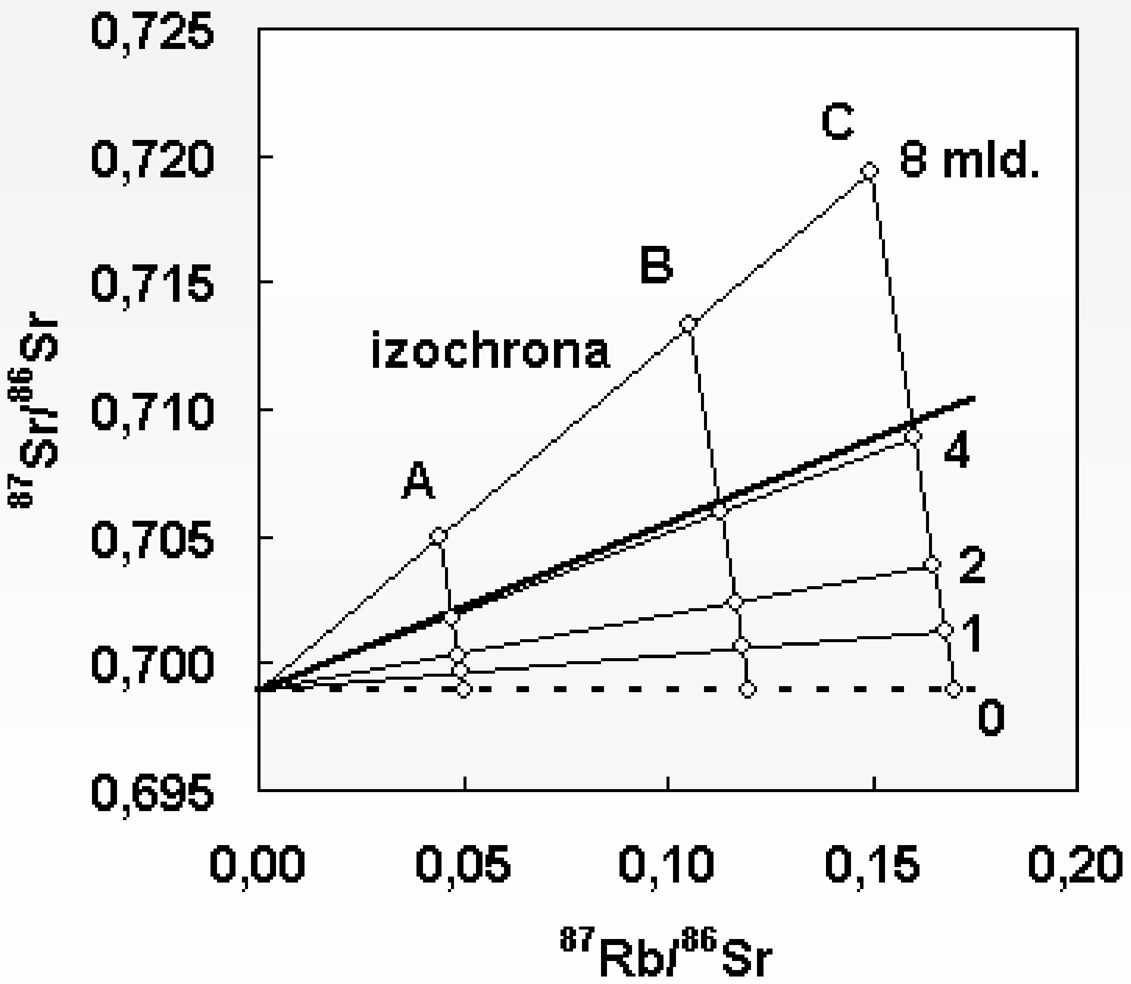
$(e^{\lambda t} - 1) = 0{,}0662$

$\lambda = 1{,}42\times10^{-11}$ rok$^{-1}$

$t = 1/1{,}42\times10^{-11} \ln 1{,}0662$

$t = 4{,}51\times10^{9}$ let = 4,51 miliardy let

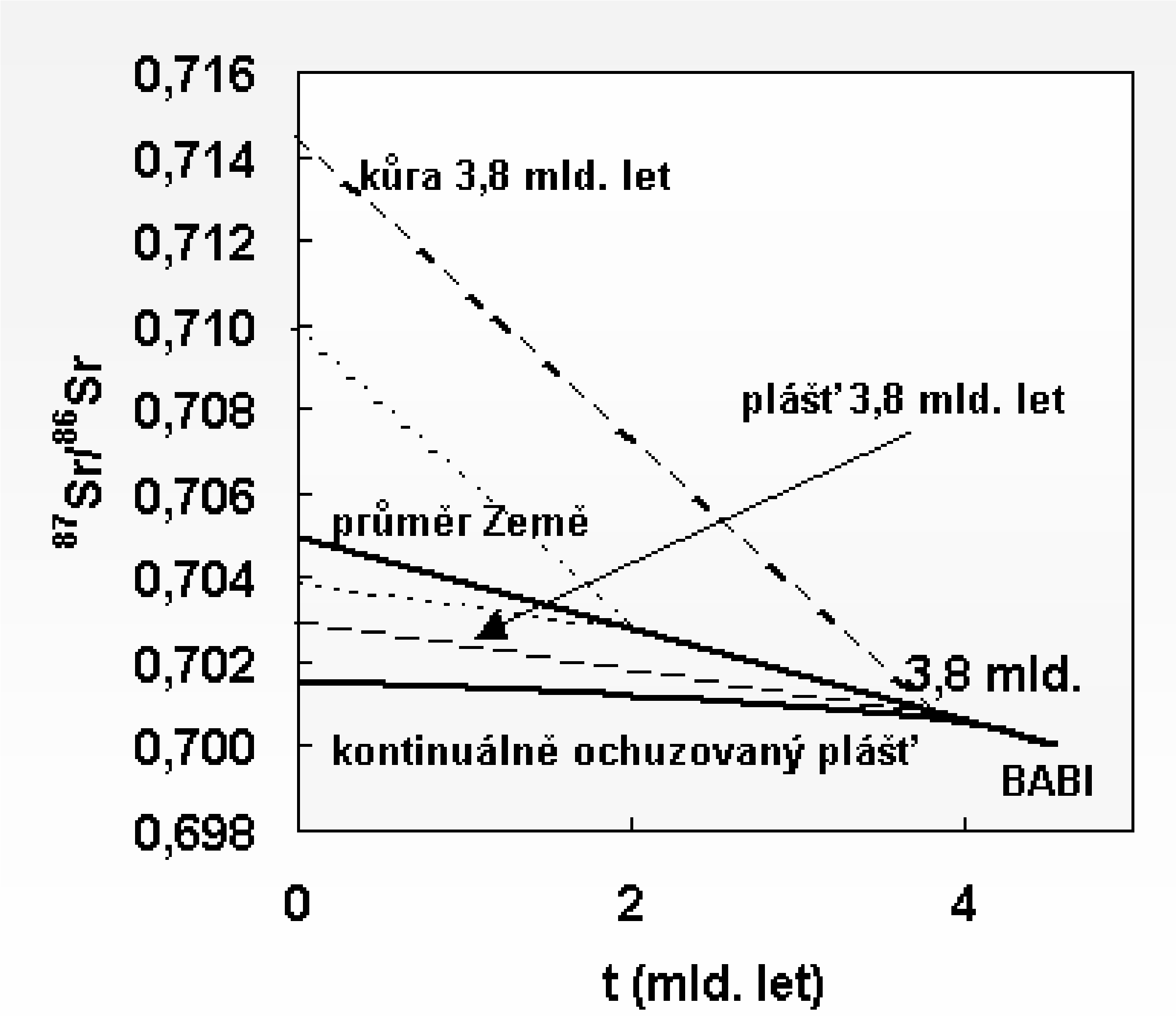
# Izochrony


0,725
0,720
0,715
0,710
0,705
0,700
0,695
87Sr/86Sr
C
8 mld.
B
izochrona
A
4
2
1
0
0,00
0,05
0,10
0,15
0,20
87Rb/86Sr

# Užitečné systémy

| rodič | dceřinný produkt | rozpad | λ (×10$^{12}$ rok$^{-1}$) | $t_{1/2}$ (×10$^{-9}$let) | poměr |
|---|---|---|---|---|---|
| $^{40}K$ | $^{40}Ar$, $^{40}Ca$ | $\beta^+$, $\beta^-$ | 554,3 | 1,28 | $^{40}Ar/^{36}Ar$ |
| $^{87}Rb$ | $^{87}Sr$ | $\beta^-$ | 14,2 | 48 | $^{87}Sr/^{86}Sr$ |
| $^{138}La$ | $^{138}Ce$ | $\beta^-$ | 2,67 | 259 | $^{138}Ce/^{142}Ce$, $^{138}Ce/^{136}Ce$ |
| $^{147}Sm$ | $^{143}Nd$ | $\alpha$ | 6,54 | 106 | $^{143}Nd/^{144}Nd$ |
| $^{176}Lu$ | $^{176}Hf$ | $\beta^-$ | 19,4 | 36 | $^{176}Hf/^{177}Hf$ |
| $^{187}Re$ | $^{187}Os$ | $\beta^-$ | 16,4 | 42,3 | $^{187}Os/^{186}Os$, $^{187}Os/^{188}Os$ |
| $^{232}Th$ | $^{208}Pb$, $^{4}He$ | $\alpha$ | 49,48 | 14 | $^{208}Pb/^{204}Pb$, $^{3}He/^{4}He$ |
| $^{235}U$ | $^{207}Pb$, $^{4}He$ | $\alpha$ | 984,9 | 0,707 | $^{207}Pb/^{204}Pb$, $^{3}He/^{4}He$ |
| $^{238}U$ | $^{206}Pb$, $^{4}He$ | $\alpha$ | 155,1 | 4,47 | $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{3}He/^{4}He$ |

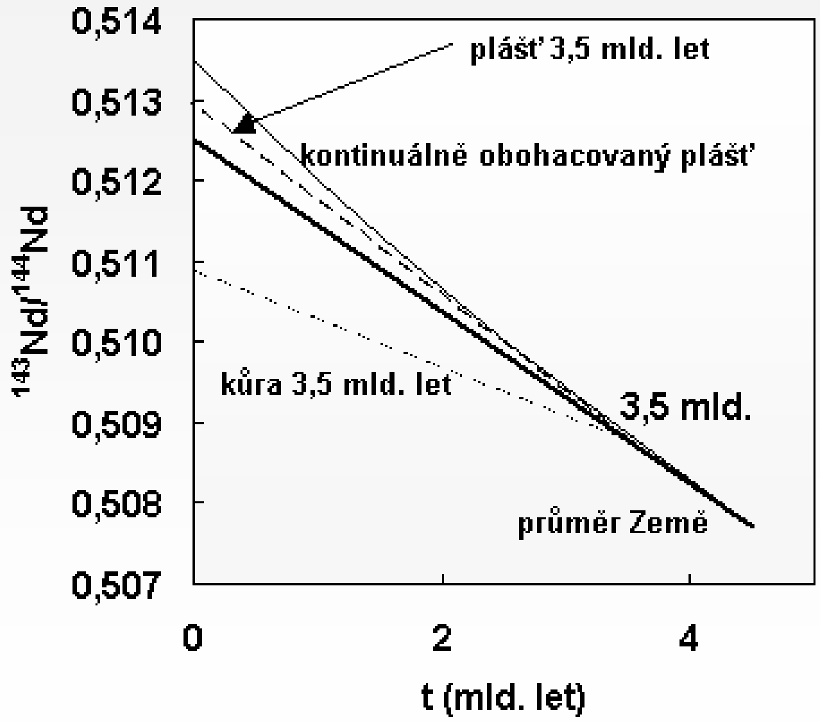
# $^{87}Rb–^{87}Sr$



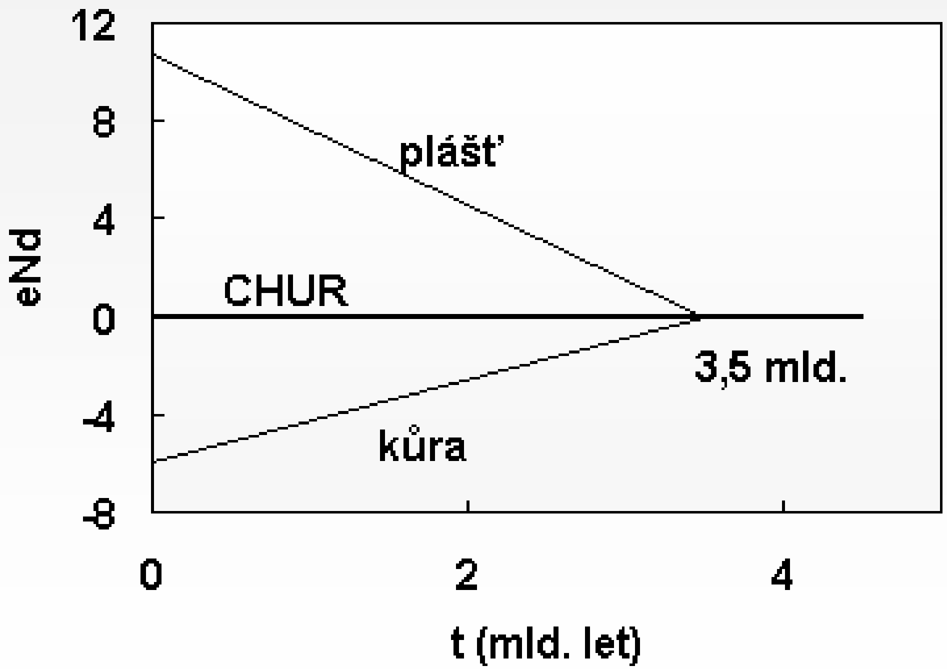

kůra je nabohacována na Rb frakcionací, výrazné změny ve světlých horninách, malé v tmavých

BABI (best initial basaltic achondrite)

# $^{147}Sm–^{143}Nd$



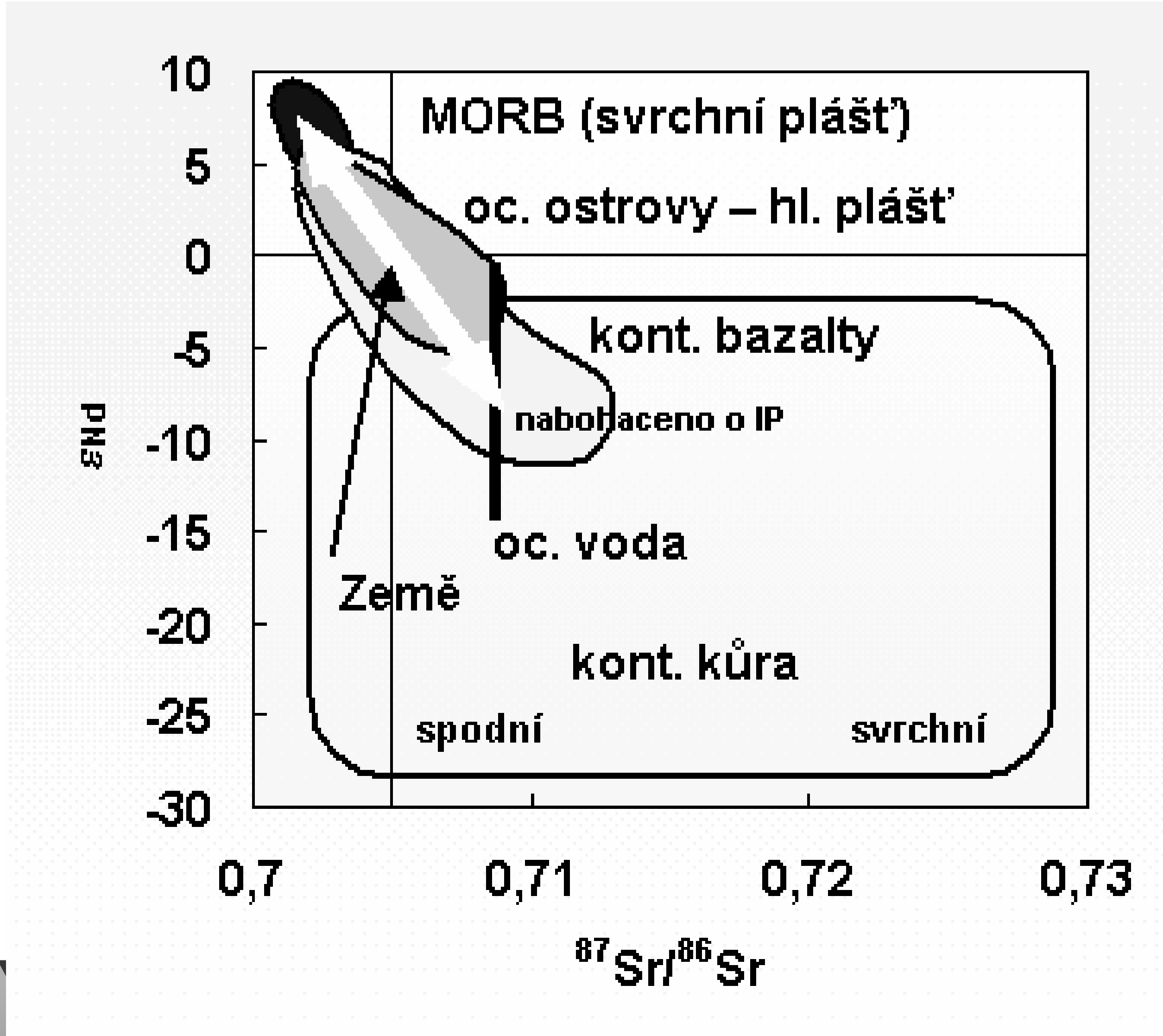

opačné chování než $^{87}Rb–^{87}Sr$



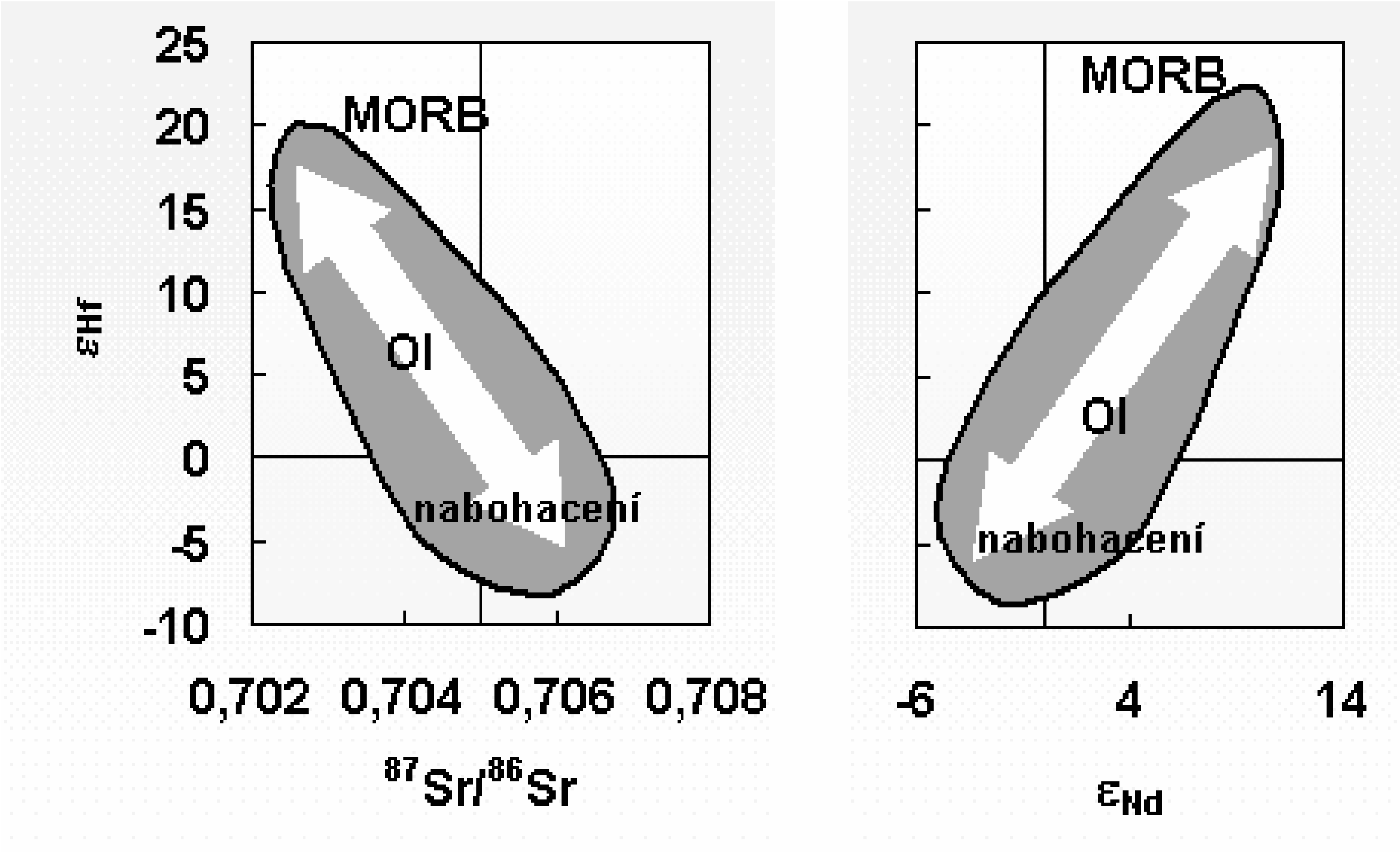

poměr vůči chondritu

$\varepsilon_{Nd} = [\ (^{143}Nd/^{144}Nd) - (^{143}Nd/^{144}Nd)_{chon}\ ]/\ (^{143}Nd/^{144}Nd)_{chon} \times 10^4$

# Kombinace různých izotopů



# $^{176}Lu$–$^{176}Hf$



25
20
15
10
5
0
-5
-10
εHf
MORB
OI
nabohacení
0,702
0,704
0,706
0,708
87Sr/86Sr
MORB
OI
nabohacení
-6
4
14
εNd

# U–Th–Pb

$^{207}Pb/^{204}Pb = (^{207}Pb/^{204}Pb)_0 + {}^{235}U/^{204}Pb\ (e^{\lambda 235t} - 1)$

$^{206}Pb/^{204}Pb = (^{206}Pb/^{204}Pb)_0 + {}^{238}U/^{204}Pb\ (e^{\lambda 238t} - 1)$

$\mu = {}^{238}U/^{204}Pb$

$\kappa = {}^{232}Th/^{238}U$

$^{238}U/^{235}U = 137{,}88$

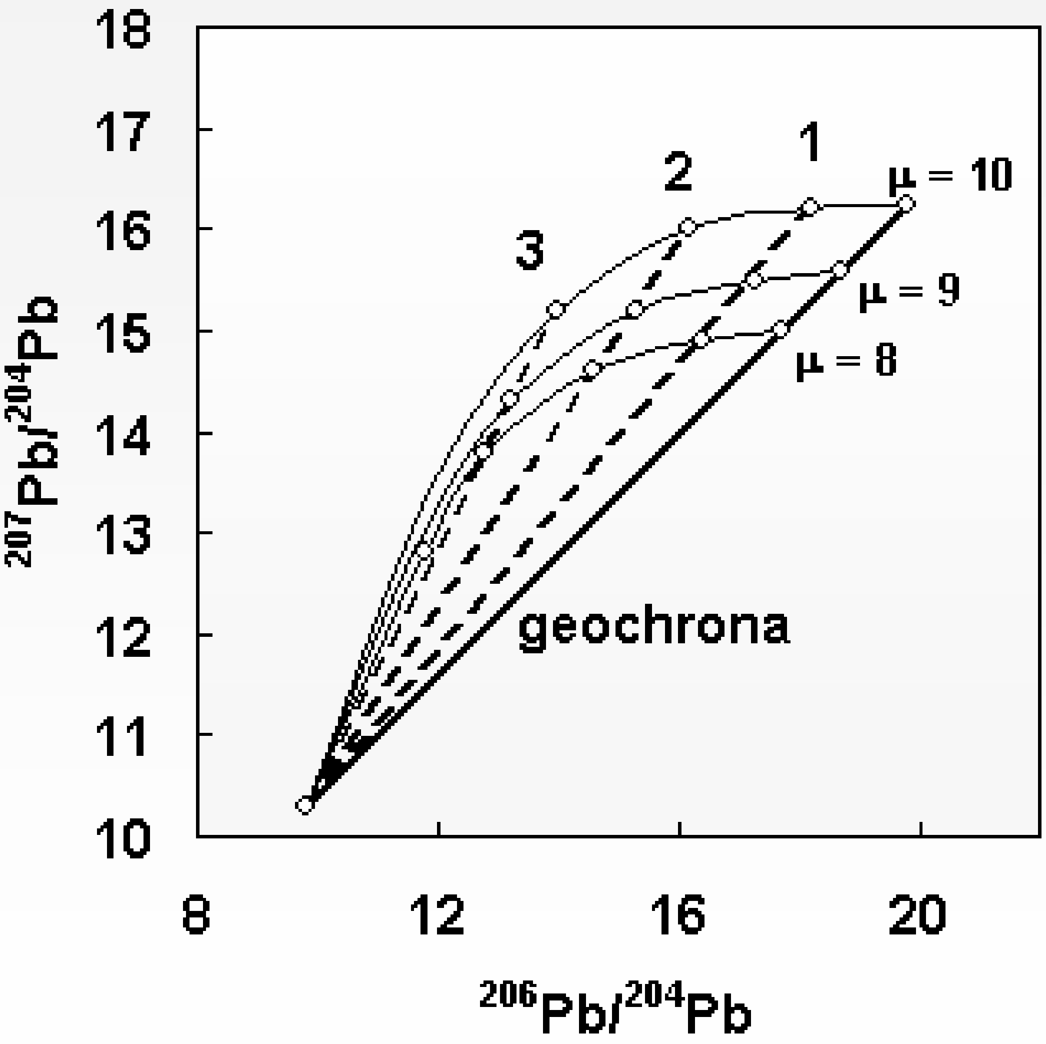
$^{207}Pb/^{204}Pb = (^{207}Pb/^{204}Pb)_0 + \mu/137{,}88\ (e^{\lambda 235t} - 1)$

$^{206}Pb/^{204}Pb = (^{206}Pb/^{204}Pb)_0 + \mu\ (e^{\lambda 238t} - 1)$

$(^{207}Pb/^{204}Pb)/(^{206}Pb/^{204}Pb) =$

$= 1/137{,}88 \times (e^{\lambda 235t} - 1)/(e^{\lambda 238t} - 1)$

# U–Th–Pb



18
17
16
15
14
13
12
11
10
8
12
16
20
$^{207}Pb/^{204}Pb$
$^{206}Pb/^{204}Pb$
1
2
3
μ = 10
μ = 9
μ = 8
geochrona

# Kinetika

aktivita $dN_i / dt$ – počet rozpadů za minutu
$dN_i / dt = - \lambda_i N_i$

stacionární stav
$0 = \lambda_P N_P - \lambda_D N_D$

obecně
$dN_D / dt = \lambda_P N_P - \lambda_D N_D$

Pro rozpadovou řadu $^{238}U$

$^{238}U \rightarrow {}^{234}Th + \alpha$ (1)

$^{234}Th \rightarrow {}^{234}Pa + \beta^-$ (2)

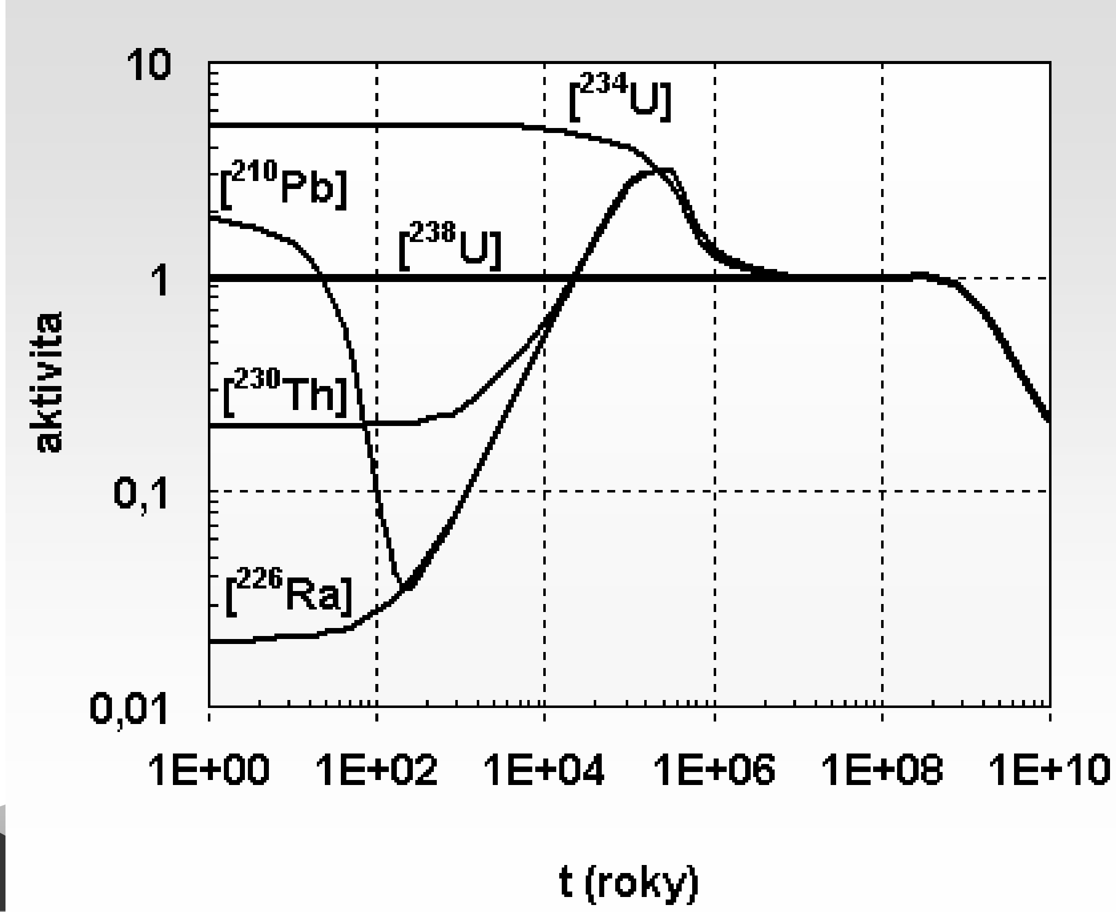
$^{234}Pa \rightarrow {}^{234}U + \beta^-$ (3)

$^{234}U \rightarrow {}^{230}Th + \alpha$ (4)

(2) a (3) rychlé

$^{238}U \rightarrow {}^{230}Th \rightarrow {}^{226}Ra$

Aktivita U se po miliardy let prakticky nemění, aktivita všech meziproduktů bez ohledu na výchozí stav zhruba po milionu let dosáhne stejné hodnoty jako $^{238}U$



# Kinetika – určování dynamiky

**Určování dynamiky růstu Mn nodulí**

pro sedimenty ($^{230}Th$ izolováno do sedimentu)

$^{230}Th = {}^{230}Th_s + {}^{230}Th_u$

s - supported by U, u - unsupported

$^{230}Th = {}^{238}U + ({}^{230}Th_0 - {}^{238}U)\, e^{-\lambda 230\, t}$

$^{230}Th / {}^{232}Th = ({}^{230}Th/{}^{232}Th)_0\, e^{-\lambda 230\, t} + ({}^{238}U/{}^{232}Th)\, (1 - e^{-\lambda 230\, t})$

růst Mn nodulí

$t = z/s$

z – hloubka

s – rychlost růstu

$y = a\, e^{k/s} + b\, e^{k/s}$

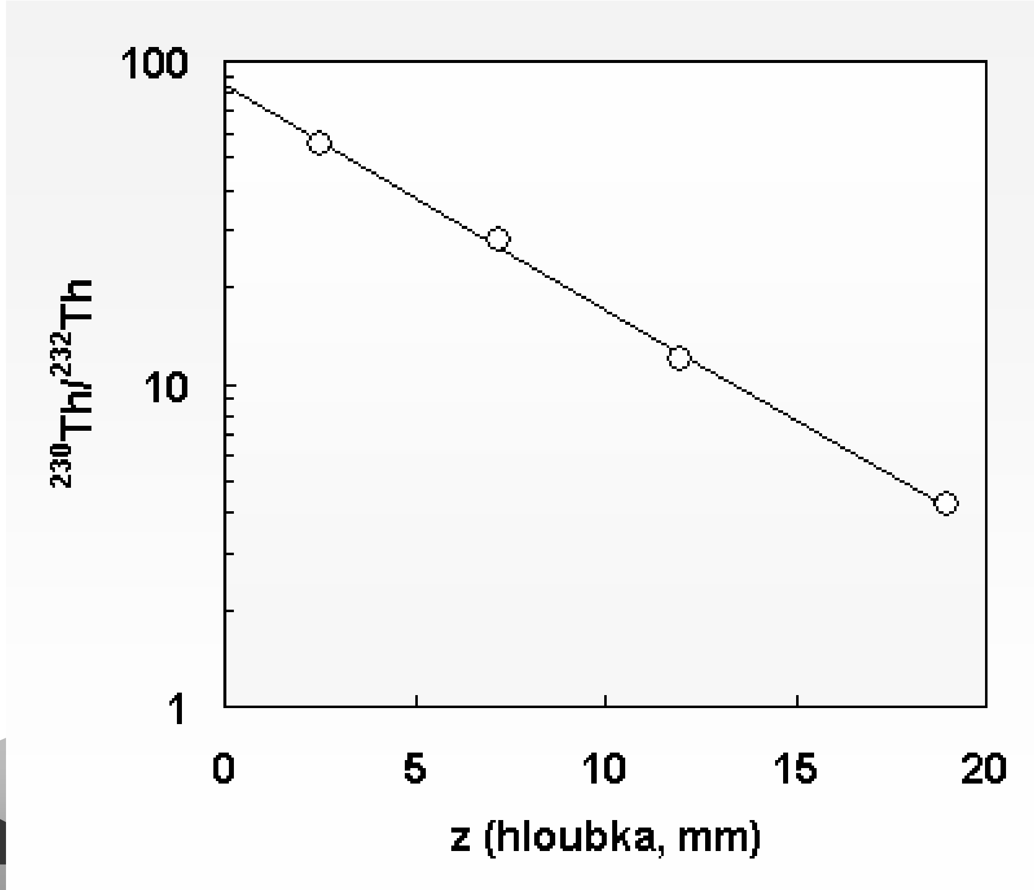
podle Huh a Ku (1984), lokalizace MANOP

$({}^{230}Th/{}^{232}Th)_0 = 84{,}25$

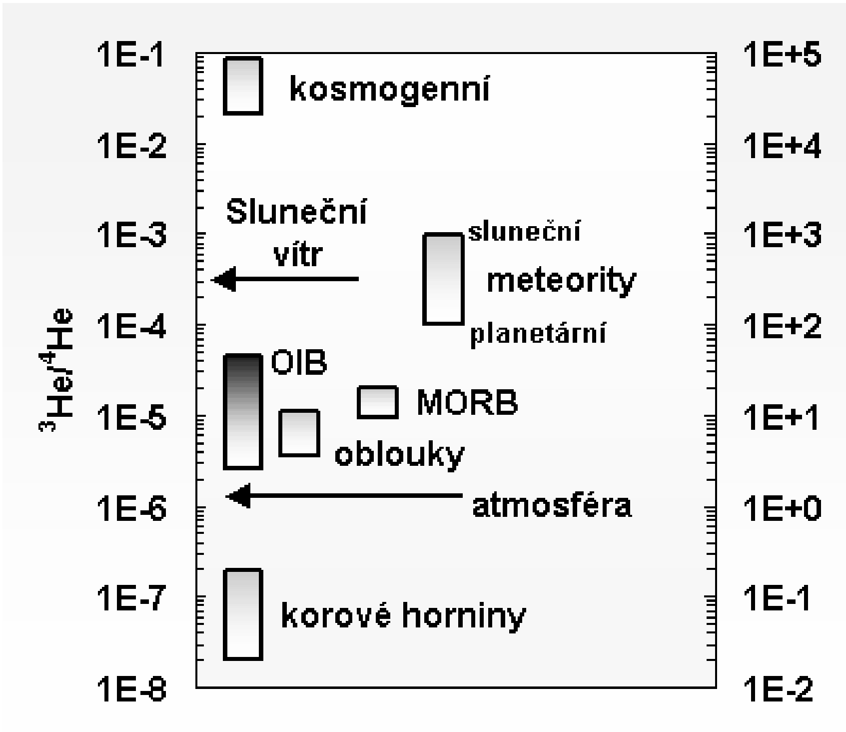
$({}^{238}U/{}^{232}Th) = 0{,}22$

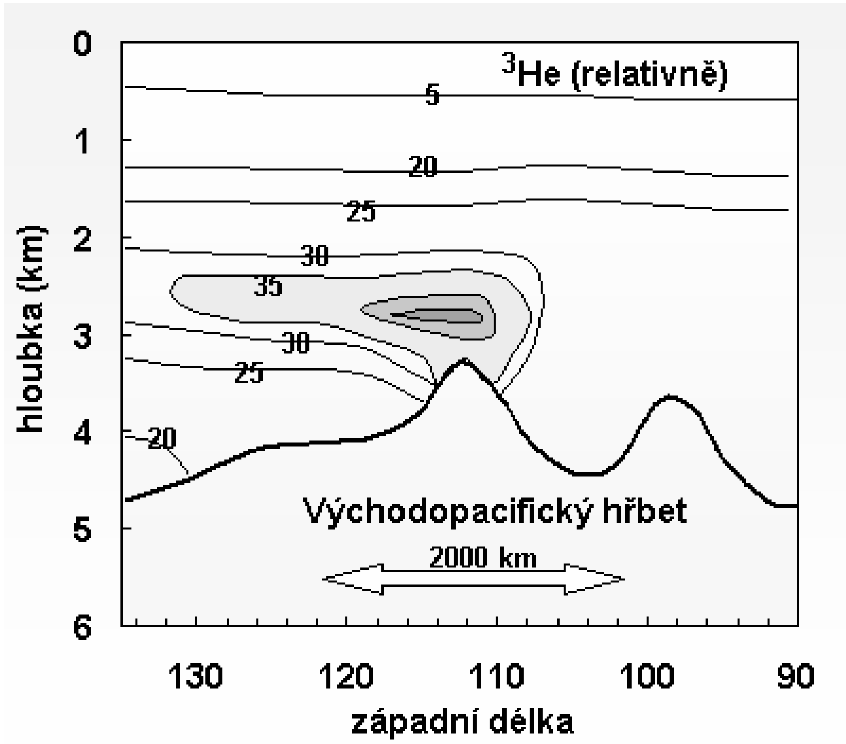
$s = 5{,}73 \times 10^{-5}$ mm/rok

S = 57,3 mm/mil. let



# $^{3}He/^{4}He$




# $^{14}C$

kosmogenní původ, až 40.000 let, atmosféra konst. $^{14}C/^{12}C$, po izolaci od atmosféry

$$^{14}C/^{12}C = (^{14}C/^{12}C)_0 \, e{-}\lambda_{14}\, t$$

$$\lambda_{14} = 0{,}1209\times10^{-3} \; (t_{1/2} = 5730)$$