

Stabilní izotopy

Vlastnosti důležité pro využití (fyzikální)

- nízká hmotnost
- relativně velký rozdíl hmotnosti mezi izotopy
- vysoký stupeň kovalentní vazby
- více oxidačních stavů
- relativně vysoká koncentrace méně zastoupeného izotopu (nejméně desetiny %)

Frakcionace izotopů - vyjádření

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\left(\frac{{}^{18}\text{O}}{{}^{16}\text{O}}\right)_{\text{vz}} - \left(\frac{{}^{18}\text{O}}{{}^{16}\text{O}}\right)_{\text{SMOW}}}{\left(\frac{{}^{18}\text{O}}{{}^{16}\text{O}}\right)_{\text{SMOW}}} \times 10^3$$

frakcionace vyjádřená jako δ (‰)

$$\alpha_{\text{A-B}} = \frac{R_{\text{A}}}{R_{\text{B}}} \quad \text{koeficient frakcionace}$$

$$\Delta_{\text{A-B}} = \delta_{\text{A}} - \delta_{\text{B}}$$

frakcionace – translační, rotační a vibrační pohyb



$$\Delta = 10^3 \ln \alpha$$

$K = 1,04$ (25°C)

Standardy

prvek	značení	poměr	standard	abs. poměr
H	δD	$^2H/^1H$	SMOW	$1,557 \times 10^{-4}$
Li	$\delta ^6Li$	$^6Li/^7Li$	NBS L-SVEC	0,08306
B	$\delta ^{11}B$	$^{11}B/^10B$	NBS 951	4,044
C	$\delta ^{13}C$	$^{13}C/^12C$	PDB	$1,122 \times 10^{-2}$
N	$\delta ^{15}N$	$^{15}N/^14N$	ATM	$3,613 \times 10^{-3}$
O	$\delta ^{18}O$	$^{18}O/^16O$	SMOV, PDB	$2,0052 \times 10^{-3}$
	$\delta ^{17}O$	$^{17}O/^16O$	SMOW	$3,76 \times 10^{-4}$
S	$\delta ^{34}S$	$^{34}S/^32S$	CDT	$4,43 \times 10^{-2}$

SMOW - Standard Mean of Ocean Water

PDB - Pee Dee Belemnite

ATM - ATMospheric nitrogen

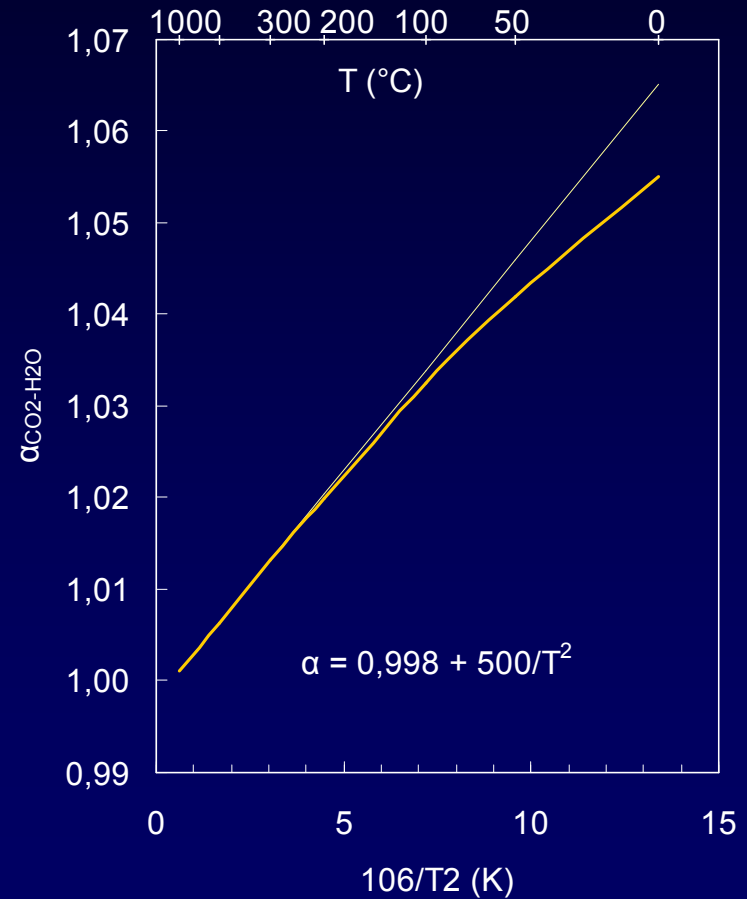
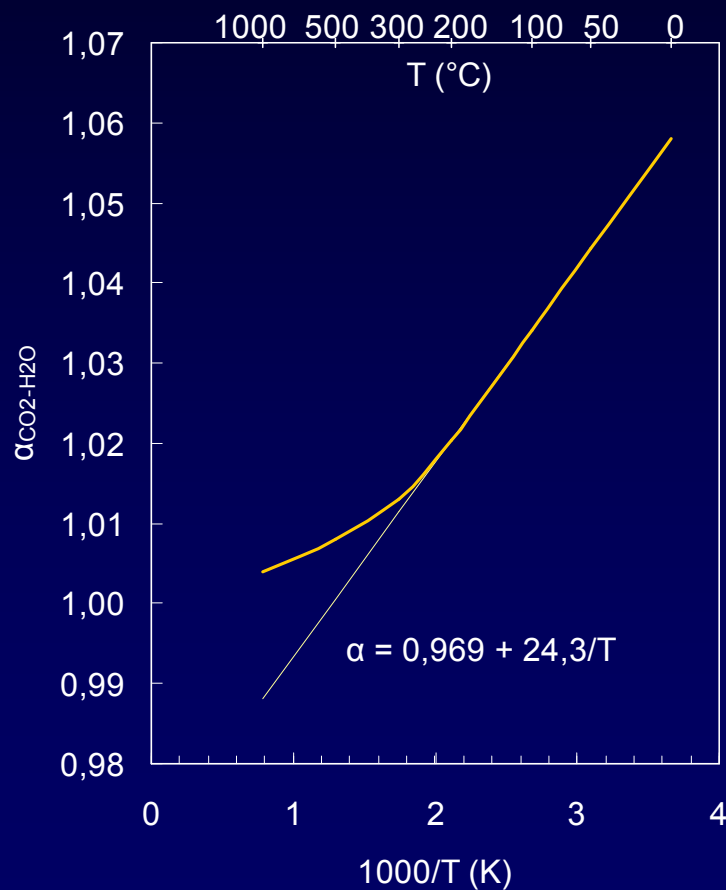
CDT - Canyon Diablo troilite (z meteoritu)

NBS - National Bureau of Standards (USA)

Teplotní závislost

$$\alpha = A + \frac{B}{T}$$

$$\alpha = A + \frac{B}{T^2}$$



Závislost na složení a tlaku: těžší izotop do fáze s pevnější vazbou (a kovalentní)

^{18}O – více v křemenu než v magnetitu, ^{18}O – více v CO_3^{2-} než ve vodě (30 ‰); vliv tlaku zanedbatelný: $(\partial G/\partial p) = \Delta V$

Kinetika

difuze, odpařování

pokud není dosaženo rovnováhy v reakci, reakční produkty nabohaceny lehčím izotopem (fotosyntéza, bakteriální redukce)

Frakcionace



$$dA = k_A A \quad dB = k_B B$$

$$\alpha = \frac{k_B}{k_A}$$

koeficient frakcionace

$$\ln \frac{B}{B_0} = \alpha \ln \frac{A}{A_0}$$

po integraci

$$\frac{B}{B_0} = \left(\frac{A}{A_0} \right)^\alpha$$

$$\frac{B}{B_0} = f^{\alpha-1}$$

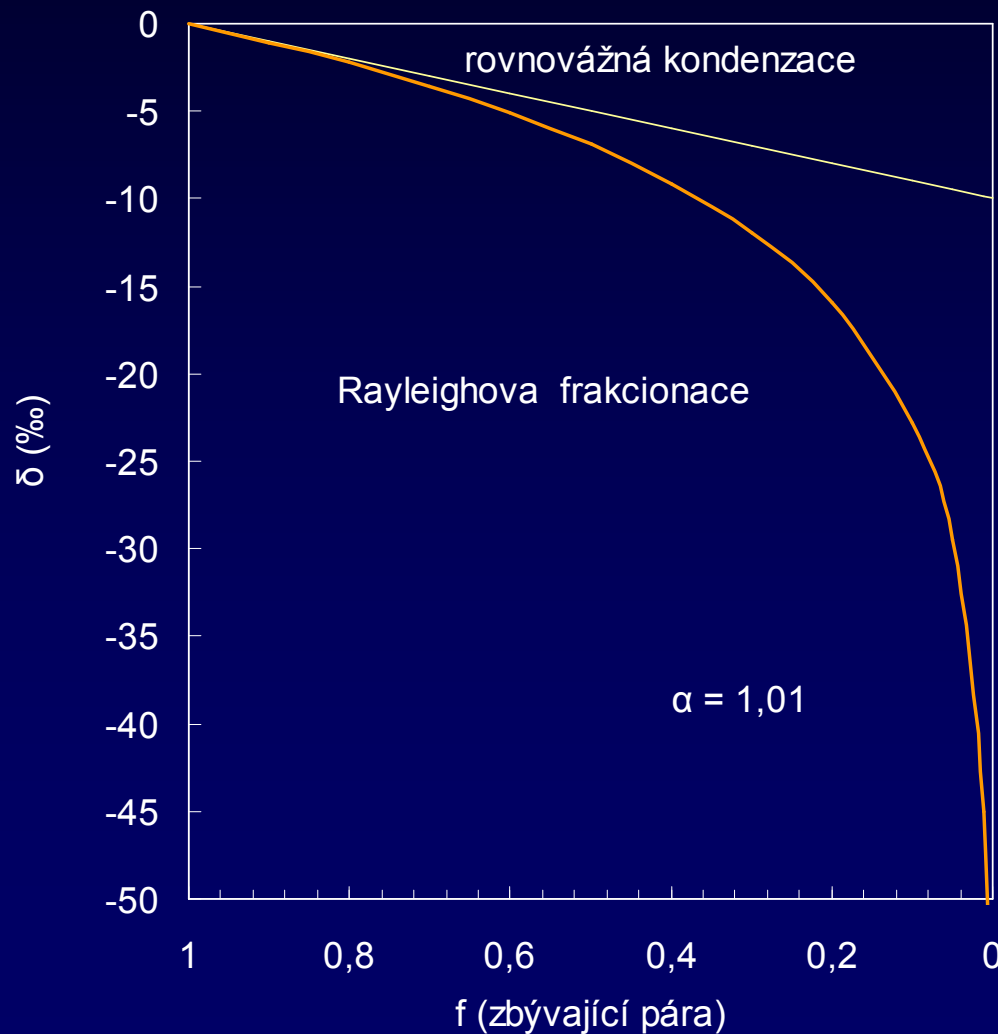
$$\frac{\frac{B}{A} - \frac{B_0}{A_0}}{\frac{B_0}{A_0}} = f^{\alpha-1} - 1$$

$$\delta = 1000 (f^{\alpha-1} - 1)$$

δ je rozdíl původního izotopického složení a izotopického složení po tom, kdy zkrystalizovala (vykristalizovala) část f

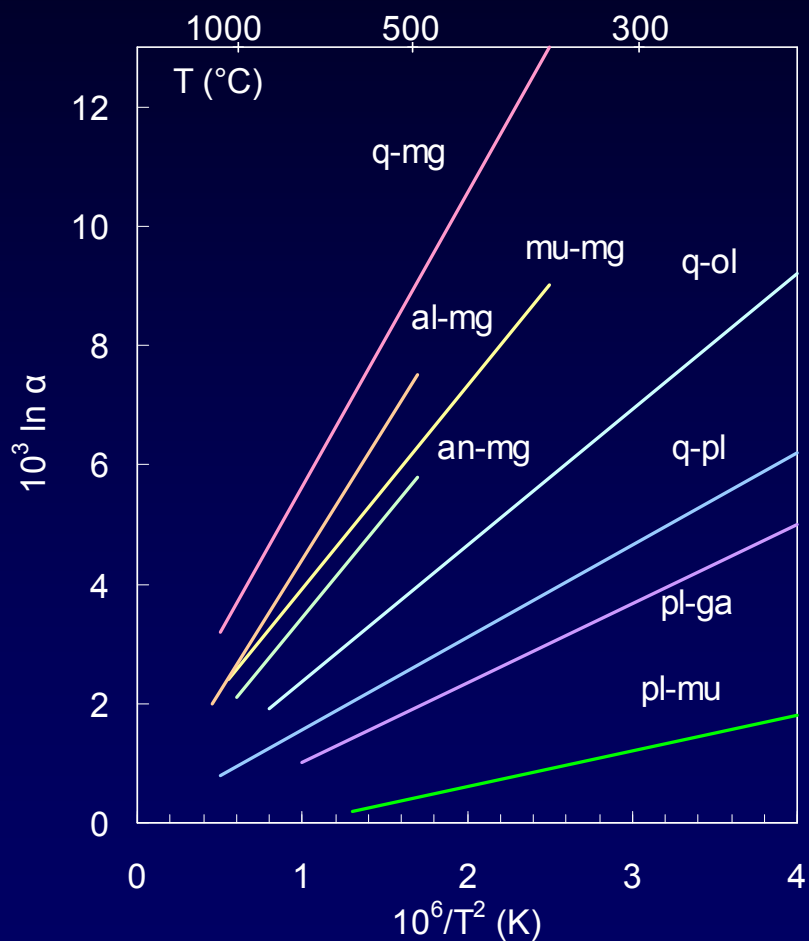
Frakcionace

Izotopické složení zbývající páry po kondenzaci ($f - 1$) množství vody ve srovnání s původním izotopickým složením páry. Znáznorněna je nerovnovážná a rovnovážná kondenzace.

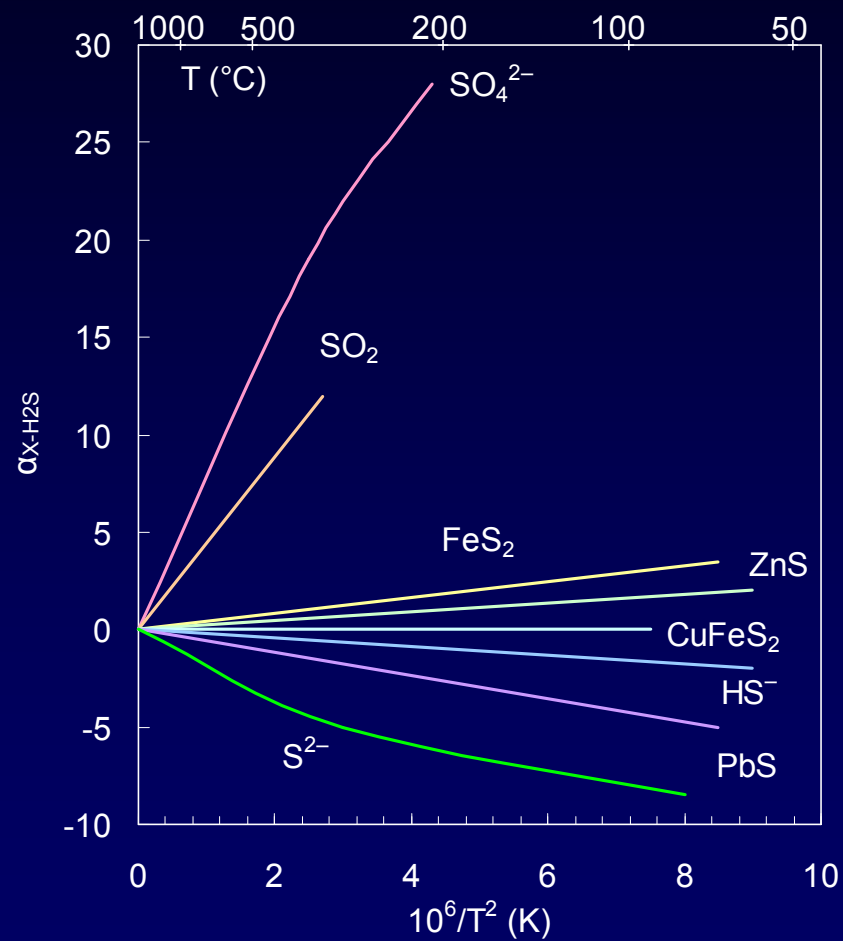


Geothermometrie

$$\ln K = \ln \alpha = A + \frac{B}{T^2}$$

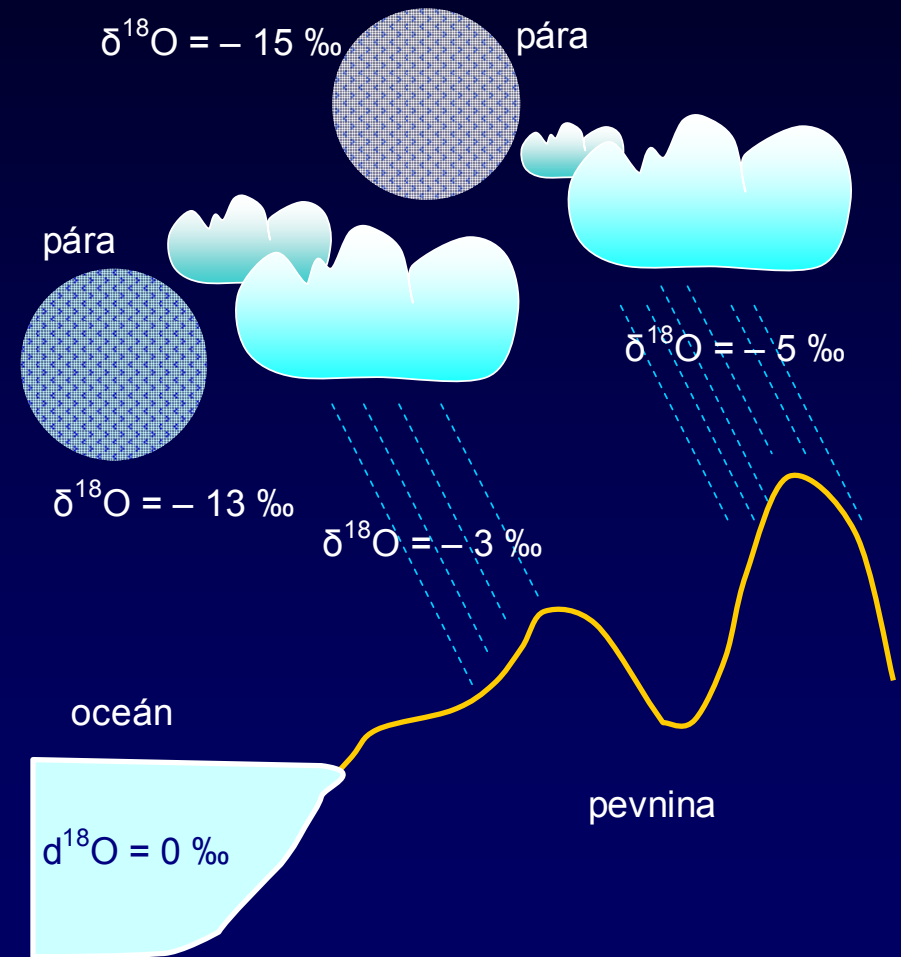
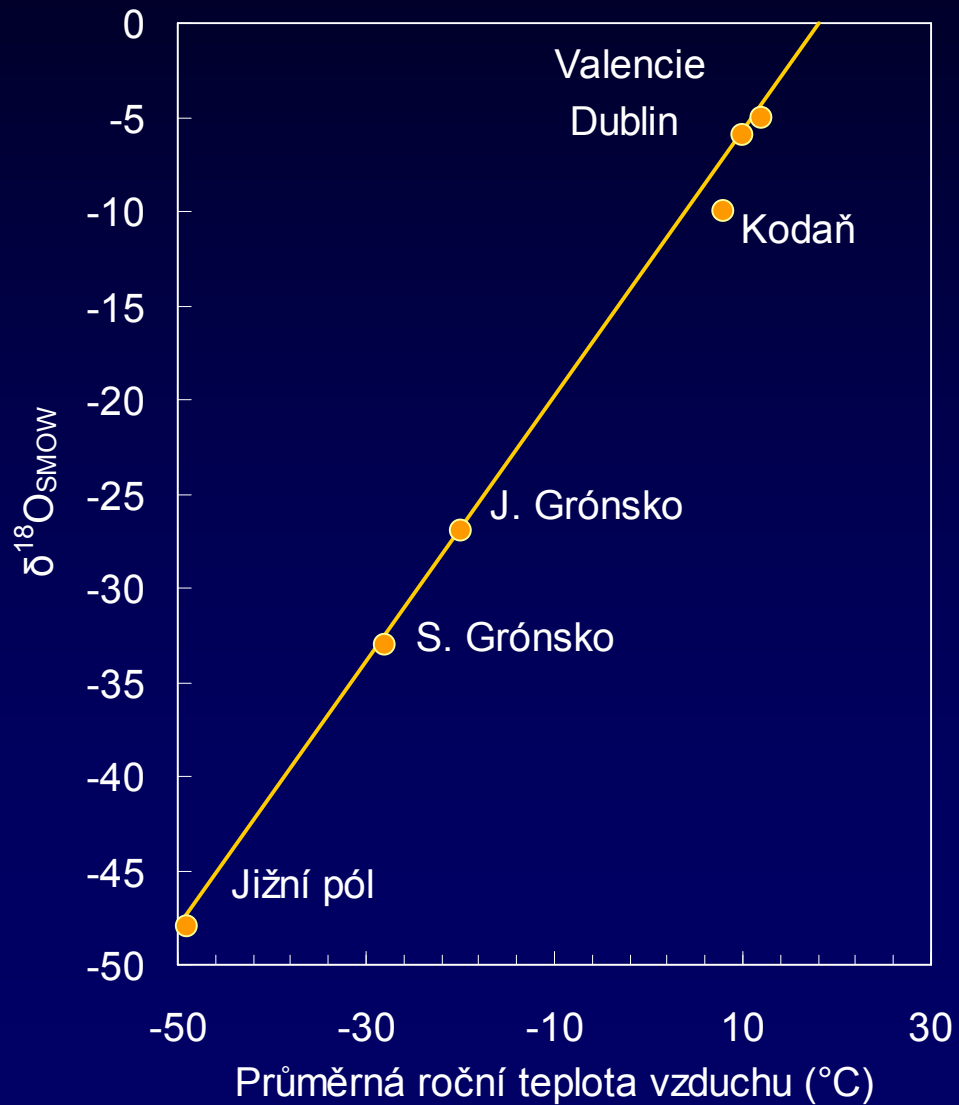


Frakcionace kyslíku mezi různými minerály jako funkce T .

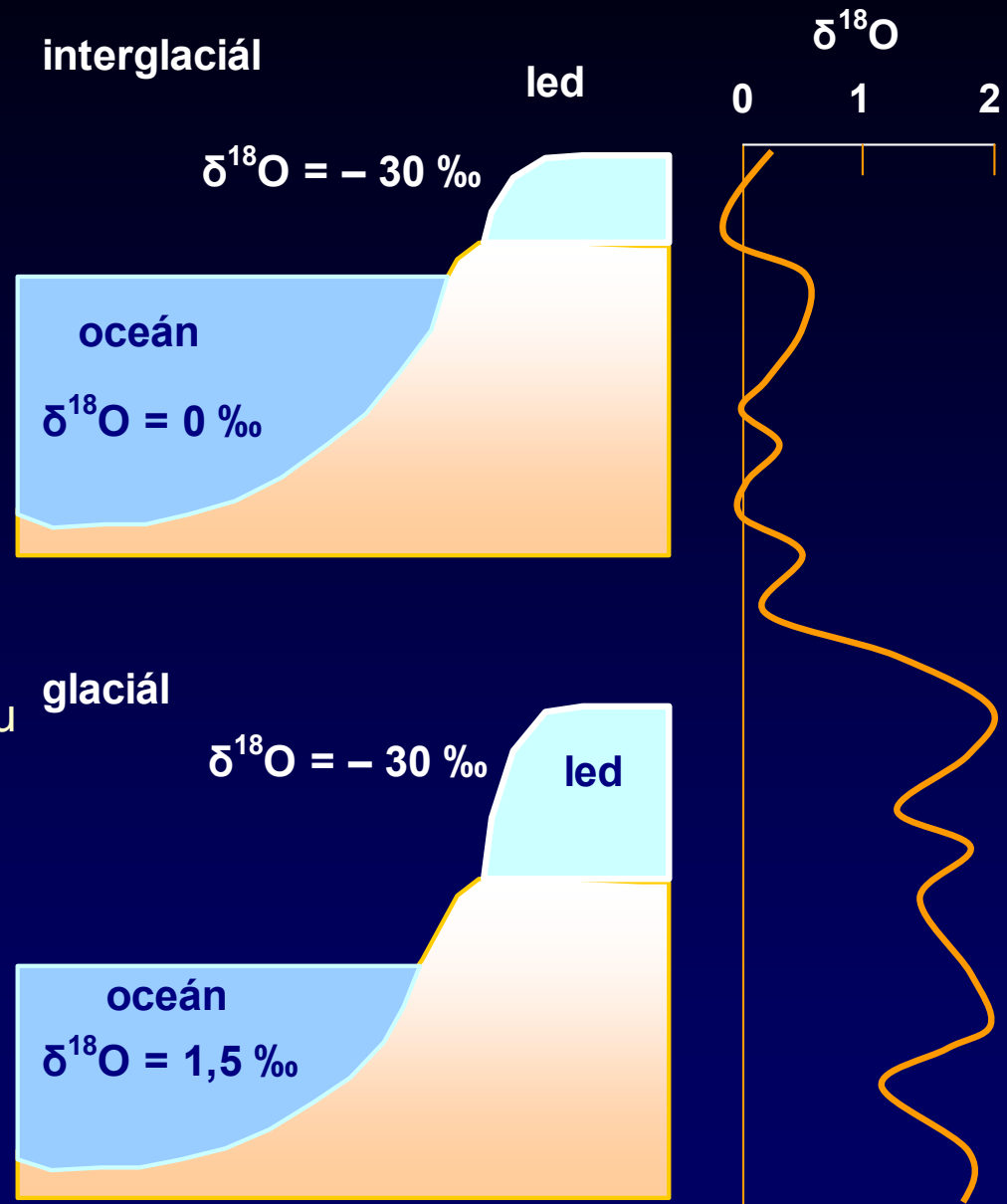


Frakcionace S mezi H_2S a dalšími sirnými látkami.

Hydrosféra a atmosféra



Hydrosféra a atmosféra



Urey: frakcionace ^{18}O mezi kalcitem a vodou

$$T (\text{°C}) = 16,9 - 4,2 \Delta_{\text{kal-H}_2\text{O}} + 0,13 \Delta_{\text{kal-H}_2\text{O}}^2$$

Ledovce Grónska: -30 až -35 ‰

Ledovce Antarktidy: -50 ‰

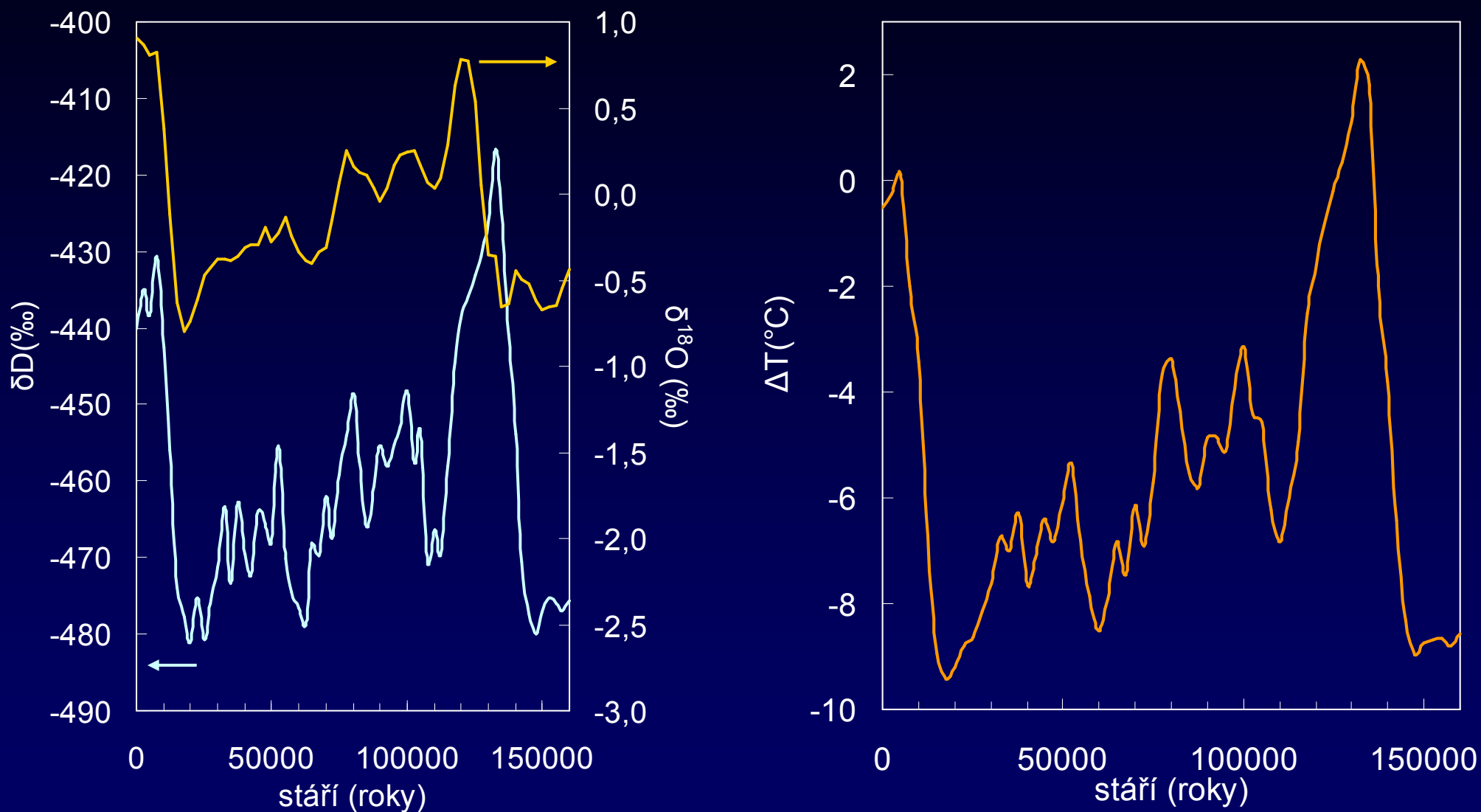
Dnešní stav:

Kontinentální led: $27,5 \text{ mil. km}^3$

Voda v oceánech: 1350 mil. km^3

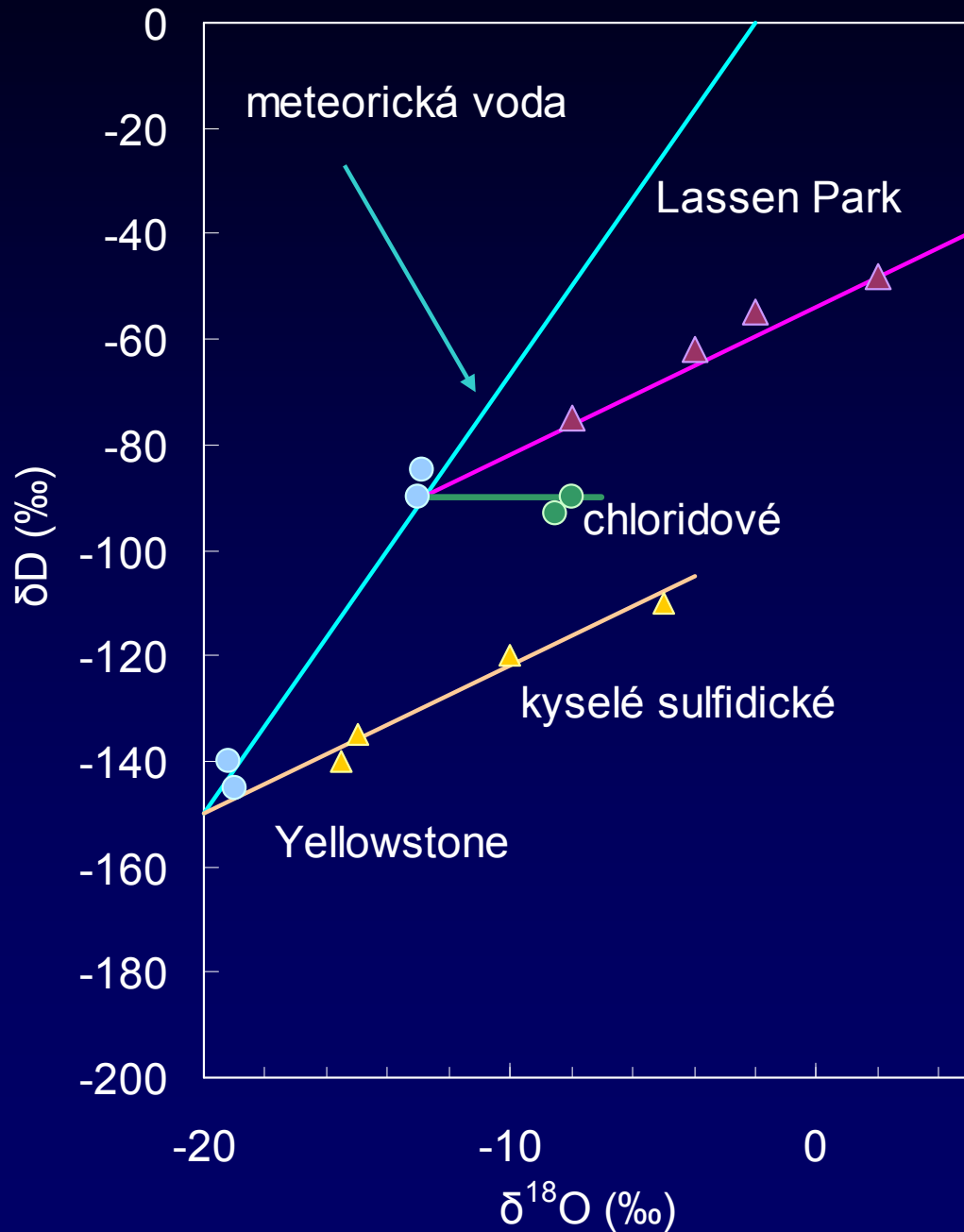
Ledové doby: vzrůst ledu o 42 mil. km^3
snížení hladiny o 125 m

Paleoteploty



Rekonstrukce paleoteplot z ledu vrtu Vostok na základě δD . Křivka $\delta^{18}O$ ukazuje změny izotopického složení oceánu odvozené z karbonátů sedimentů.

Hydrotermální systémy



Frakcionace δD a $\delta^{18}O$ v meteorických hydrotermálních systémech. K frakcionaci dochází v důsledku zahřívání, varu a míšení vod.

Krystalizace magmatu

Frakční krystalizace

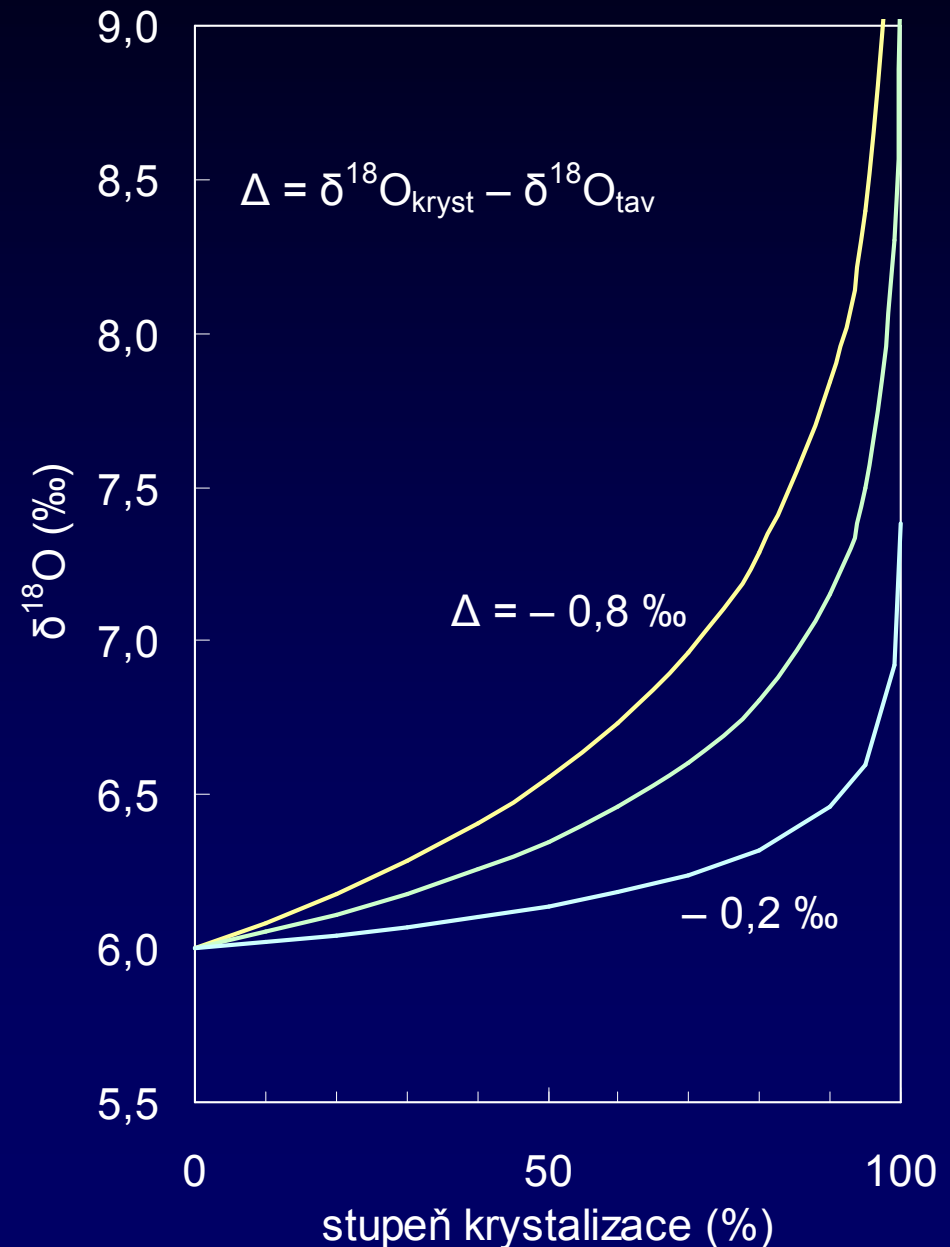
$$\frac{R_l}{R_o} = \frac{1}{f + \alpha(1-f)}$$

$$\alpha = \frac{R_s}{R_o}$$

$$\Delta = \delta_{tav} - \delta_o = \left(\frac{R_l}{R_o} - 1 \right) \times 1000$$

$$\Delta = 1000 (f^{\alpha-1} - 1)$$

pro kyslík α velmi blízké 1



Krystalizace magmatu

Frakční krystalizace a asimilace (AFC)

$$\delta_l - \delta_o = [(\delta_a - \delta_o) + \Delta \times R] \left(1 - f \frac{1}{R-1} \right)$$

l – magma, o – původní magma,
a – asimilovaný materiál

$$\Delta = \delta_l - \delta_{\text{kryst}}$$

R – poměr mezi krystalizovaným
a asimilovaným materiálem

