

# Základy geologie pro geografy (podzimní semestr 2019)

## Datování geologické minulosti

**MUNI**

*Daniel Nývlt* ([daniel.nyvlt@sci.muni.cz](mailto:daniel.nyvlt@sci.muni.cz))

# Datovací metody geologické minulosti

**Absolutní X relativní** datování

**Radiometrické (radioizotopové) metody** (terigenni radionuklidy, kosmogenni radionuklidy)

**Radiační dozimetrické metody** (luminiscence, elektronová spinová rezonance, racemizace aminokyselin, štěpné stopy)

**Kvalitativní a srovnávací metody** (přírůstkové metody – varvy, letokruhy, led; molekulární hodiny, magnetostratigrafie, biostratigrafie, tefrochronologie, lichenometrie, zvětrávání, pedogeneze, izotopické signály, superpozice, stratigrafické vztahy)

# Terigenní radionuklidy

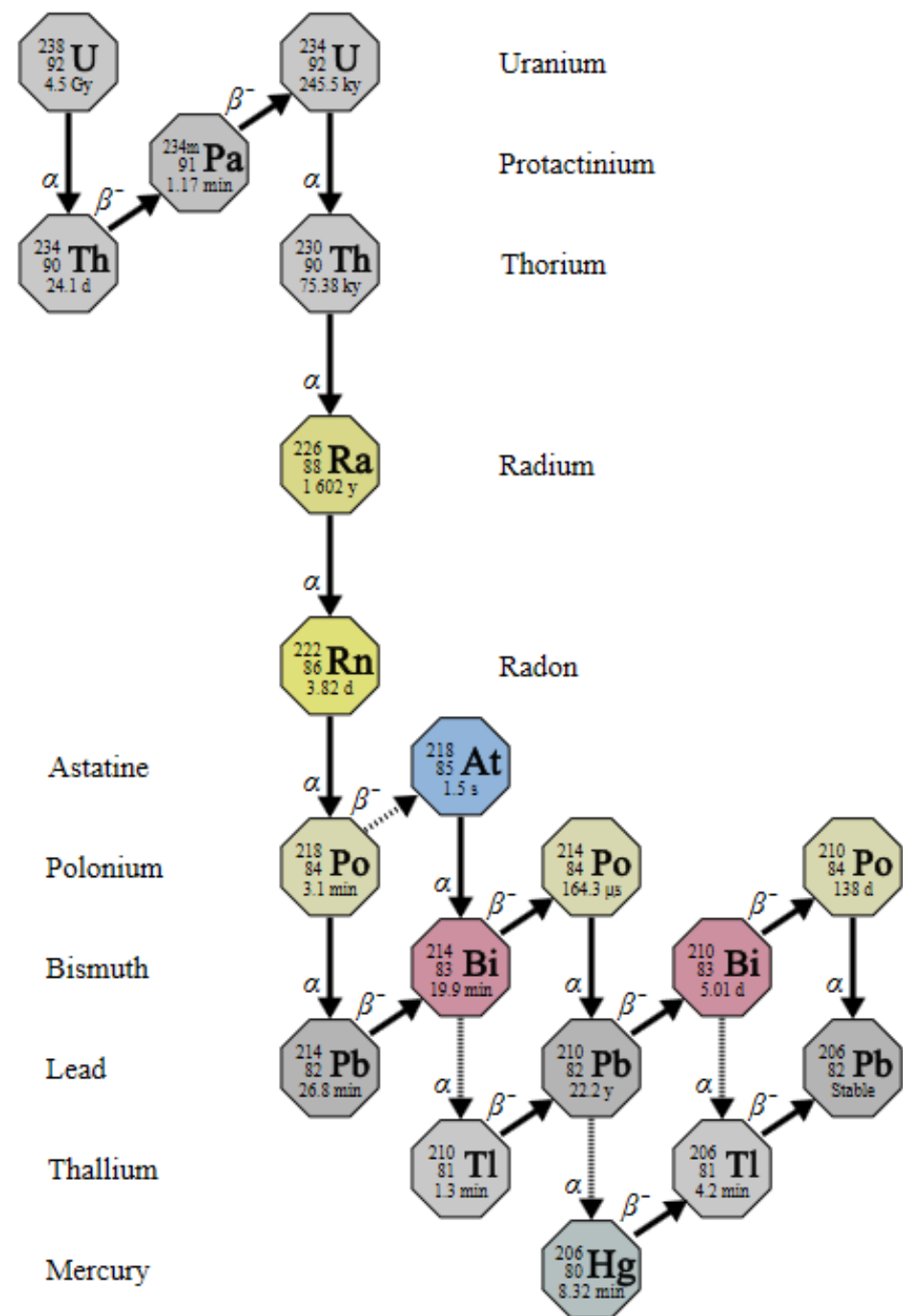
## Produkty rozpadové řady $^{238}\text{U}$

- **metoda uran-olovo** je založená na **stanovení stáří** na základě poměru dceřiného izotopu  $^{206}\text{Pb}$  a mateřského izotopu  $^{238}\text{U}$ ,

- jedna z nejstarších datovacích metod (Boltwood, 1907),

- obvykle aplikovaná na **zirkonech** (příp. monazit nebo titanit), které zachycují atomy uranu a thoria do své krystalové struktury, ale silně odpuzují olovo, proto lze považovat veškeré obsažené olovo za produkt radiogenního rozpadu až po vzniku minerálu,

- horní datovatelný limit je  $\sim 4.5$  Ga s chybou pouze 0,1–1%.

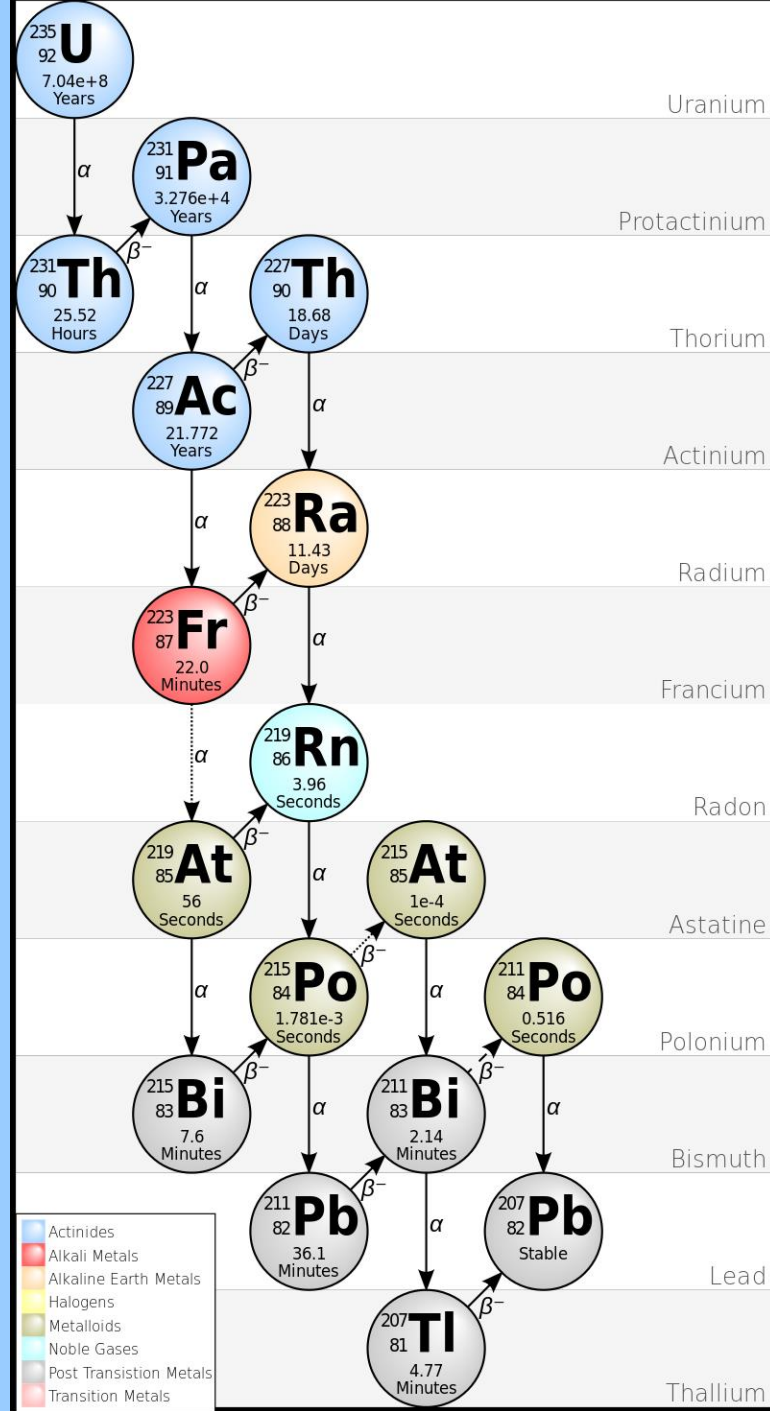


- **uran-thoriová metoda** je založená na **stanovení stáří** na základě stupně ustavené rovnováhy mezi rozpadem dceřiného izotopu  $^{230}\text{Th}$  a mateřského izotopu  $^{234}\text{U}$ ,
- protože je poločas rozpadu dceřiného izotopu kratší, než je poločas rozpadu izotopu mateřského, odpovídá v případě **dlouhodobé rovnováhy** množství rozpadů  $^{230}\text{Th}$  za jednotku času množství rozpadů  $^{234}\text{U}$  za stejný čas,
- pokud však systém není uzavřený (např. dochází k úniku radonu difuzí nebo ochuzování o vybrané izotopy zvětráváním a erozí) taková rovnováha nemůže být ustavena,
- uran je rozpustný ve vodě a proto jakýkoliv materiál, který se z takovéto vody vysráží bude obsahovat uran (typicky 0,01–100 ppm), proto je tato **metoda** vhodná k **datování mořských** (korálů) i **pevninských karbonátů** (speleotém),
- horní datovatelný limit je  $\sim 500$  ka.

$$1 - \left( \frac{^{230}\text{Th}}{^{238}\text{U}} \right) = e^{-\lambda_{230}T} - \left[ \left( \frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}} \right) - 1 \right] \left( \frac{\lambda_{230}}{\lambda_{230} - \lambda_{234}} \right) \times (1 - e^{(\lambda_{234} - \lambda_{230})T})$$

# Produkty rozpadové řady $^{235}\text{U}$

- **uran-protaktiniová metoda** ( $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ ) je také použitelná pro datování mladých událostí,
- protaktinium (obdobně jako thorium) není na rozdíl od uranu rozpustné ve vodě,
- stejné aplikace jako u uran-thoriové metody, tedy vhodné k **datování mořských** (korálů) i **pevninských karbonátů** (speleotém),
- dosah metody ~ 200 ka



# Terigenní radionuklidy

## Produkty rozpadové řady $^{238}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ a $^{232}\text{Th}$

- **metoda olovo-olovo** je dále rozvinutou metodou založenou na **stanovení stáří** na základě poměru dceřiných izotopů  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  a  $^{208}\text{Pb}$  a jejich mateřských izotopů,
- ideální v případech, když nejsou k dispozici zirkony/monazity a nebo je primárně přítomno neradiogenní olovo,
- první metoda, která umožnila správně datovat stáří Země ( $4,55 \pm 0,07$  Ga; Patterson, 1956) nebo byla aplikována k datování chondritických meteoritů a tím pádem vzniku Sluneční soustavy ( $4,57 \pm 0,0004$  Ga; Connelly et al., 2012).

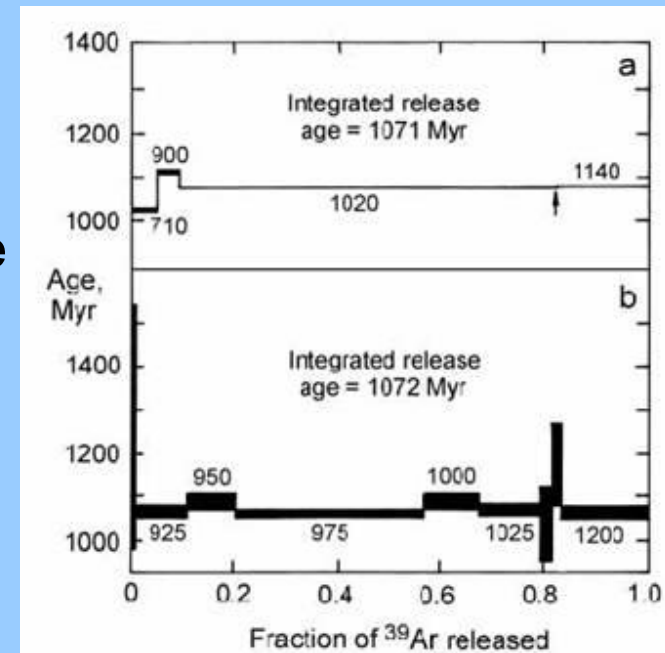
$$\left[ \frac{\left( \frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} \right)_P - \left( \frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} \right)_I}{\left( \frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} \right)_P - \left( \frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} \right)_I} \right] = \left( \frac{1}{137.88} \right) \left( \frac{e^{\lambda_{235}t} - 1}{e^{\lambda_{238}t} - 1} \right)$$

# Terigenní radionuklidy

## Draslík-argonové datování

- **metoda draslík-argon ( $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ )** je založená na **stanovení stáří** na základě rozpadu radiogenního  $^{40}\text{K}$  na  $^{40}\text{Ca}$  (beta rozpad) a  $^{40}\text{Ar}$  (zachycením elektronu),
- argon je vzácným plynem, který zůstává po vzniku zachycen v krystalové mřížce a můžeme ho z ní dostat zvýšením teploty nebo tlaku, což se používá při datování,
- draslík je běžný prvek v mnoha minerálech, jako jsou slídy, jílové minerály nebo živce,
- poločas rozpadu  $^{40}\text{K}$  je 1,248 Ga, proto lze datovat velmi staré horniny,
- metoda je velmi vhodná k datování magmatických okamžik, kdy při chladnutí a tuhnutí taveniny klesne teplota pod Curieovu teplotu železa (770 °C).

$$t = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln(2)} \ln \left( \frac{K_f + \frac{Ar_f}{0.109}}{K_f} \right)$$



# Terigenní radionuklidy

## Argon-argonové datování

- **metoda argon-argon ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ )** je metodou vycházející z  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  datování přinášející přesnější výsledky,
- datování je založené na ozáření horniny/minerálu neutrony (přeměna  $^{39}\text{K} \rightarrow ^{39}\text{Ar}$ ) a tudíž je možné měřit poměr  $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ ,
- protože se jedná pouze o relativní datovací metodu musí být zároveň s datovaným vzorkem ozářen standard známého stáří (nejčastěji stanovený pomocí  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  datování),
- výhodou metody je možnost datovat pouze části krystalů minerálů a umožňuje datovat nižší uzavírací teplotu, než originální K-Ar datování,
- pomocí této metody byly v posledních 10 letech zpřesněny stáří významných geologických hranic, jako je hranice perm-trias (252,2 Ma) a křída-paleogén (66 Ma).

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln(J \times R + 1)$$



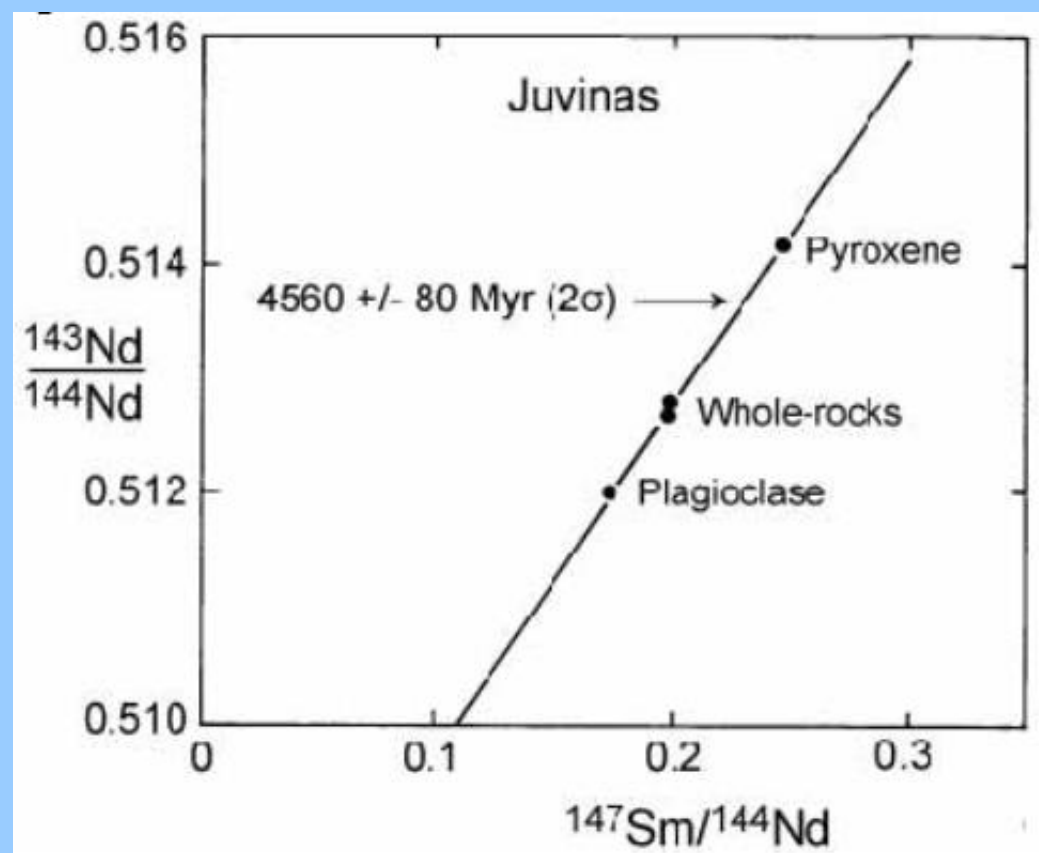
# Terigenní radionuklidy

## Samarium-neodymové datování

- datovací **metoda samarium-neodym** je založená na alfa rozpadu  $^{147}\text{Sm}$  na  $^{143}\text{Nd}$  s poločasem rozpadu 106 Ga,

- samarium a neodym se nabojuje v silikátových minerálech s narůstajícím časem krystalizace, samarium je nabožováno v mafických horninách (vysoký poměr Sm/Nd), naproti tomu neodym je bohatší ve felsických minerálech (nízký poměr Sm/Nd),

- pro výpočet stáří se využívá poměrů  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  a  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ .



# Terigenní radionuklidy

## Rubidium-stronciové datování

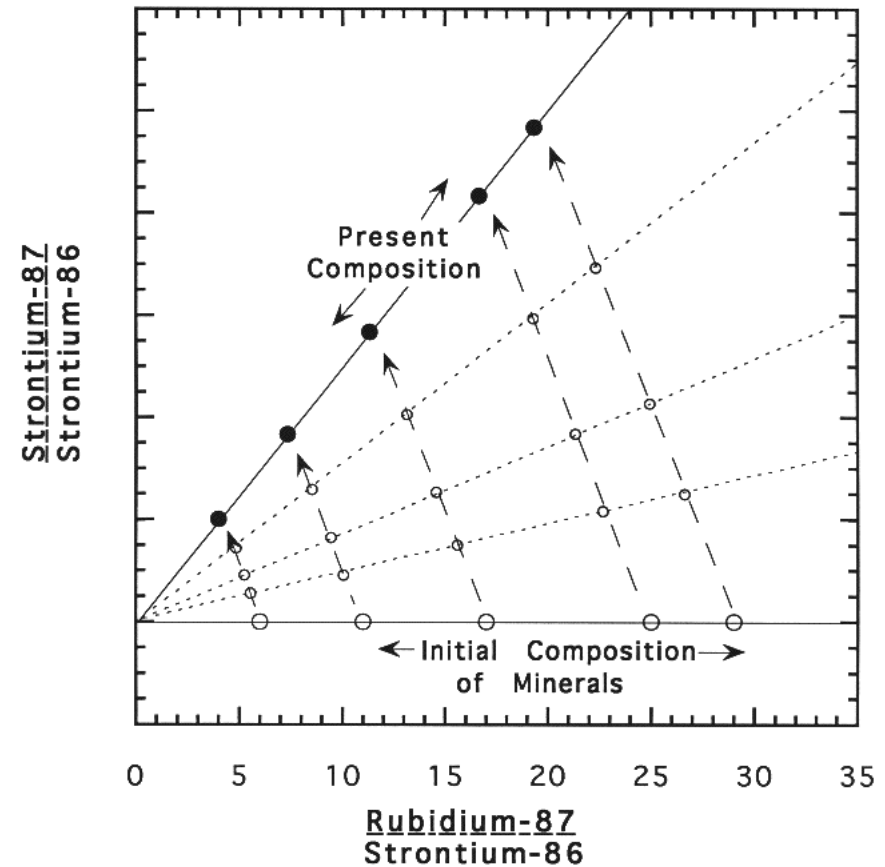
- datovací **metoda rubidium-stroncium** je založená na beta rozpadu  $^{87}\text{Rb}$  na  $^{87}\text{Sr}$  s poločasem rozpadu 48,8 Ga,

- rubidium je nabohacené v korových horninách, stroncium se při frakční krystalizaci koncentruje v plagioklasech a rubidium se dostává do minerálů krystalujících v pozdních fázích, mění se tak poměr Rb/Sr u jednotlivých minerálů a hornin (nejvyšší je u pegmatitů s hodnotou  $>10$ ),

- obvykle se **datuje více minerálů** (u granitu nejčastěji plagioklas, draselný živec, amfibol, biotit a muskovit), protože mají jiné počáteční poměry Rb/Sr,

- pro výpočet stáří se využívá poměrů  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  a  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ .

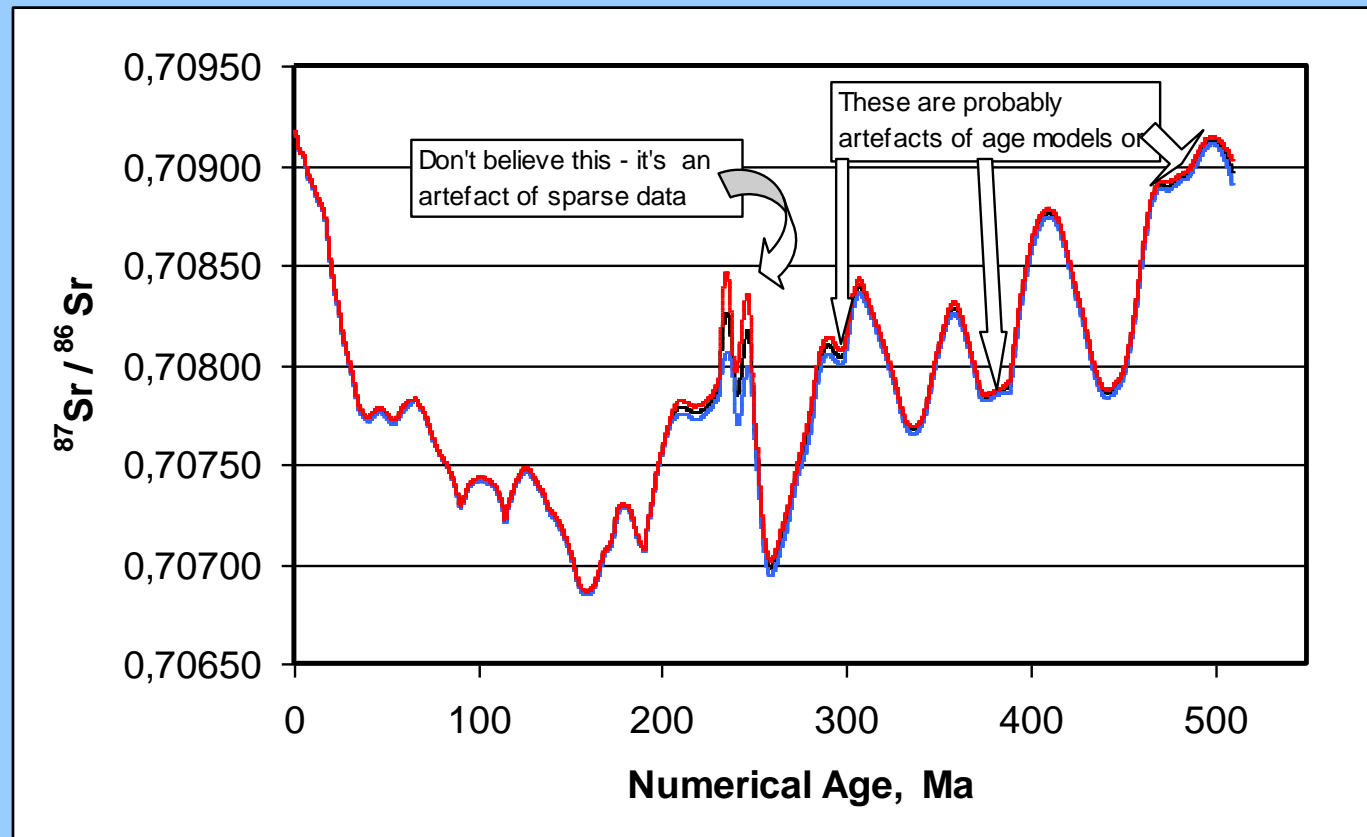
The Rubidium-Strontium System



## Stronciové datování mořských organismů a sedimentů

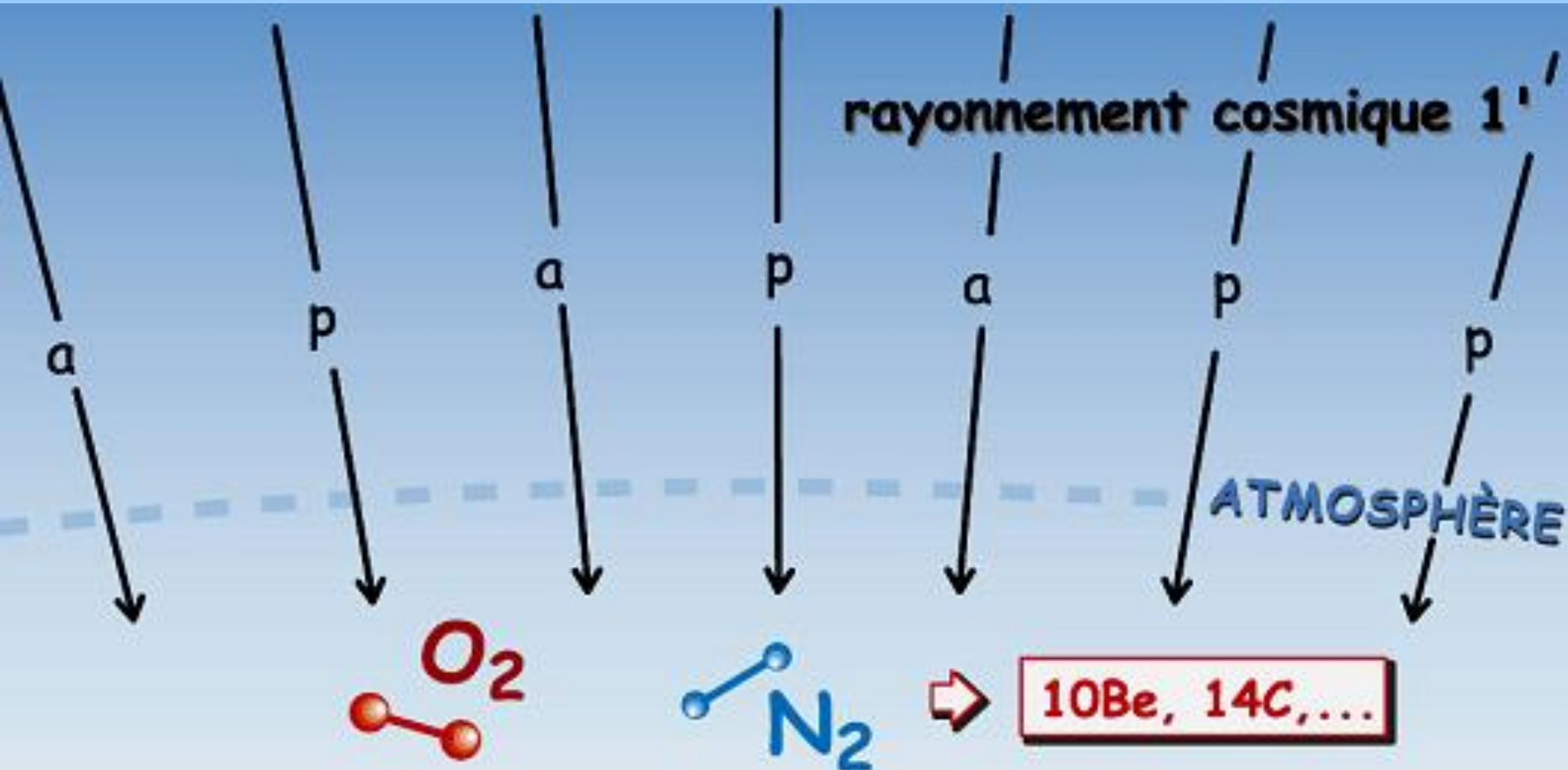
Poměr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v biogenně a chemogenně vzniklých **mořských organismech a sedimentech se** během fanerozoika **mění**. Poměr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v mořské vodě je závislý na poměrech  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v horninách, které jsou do moří erodovány a kterými sladká voda ještě na pevninách protéká. **Intenzivní vulkanická aktivita** během některých období přináší do oceánu materiál **s nízkým poměrem  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$** , proti tomu působí **snos hornin kontinentální kůry s vysokým poměrem  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$**  do oceánů v obdobích bez významnější vulkanické aktivity.

Pro mladší kenozoikum vhodná metoda datování s chránek mořských měkkýšů.

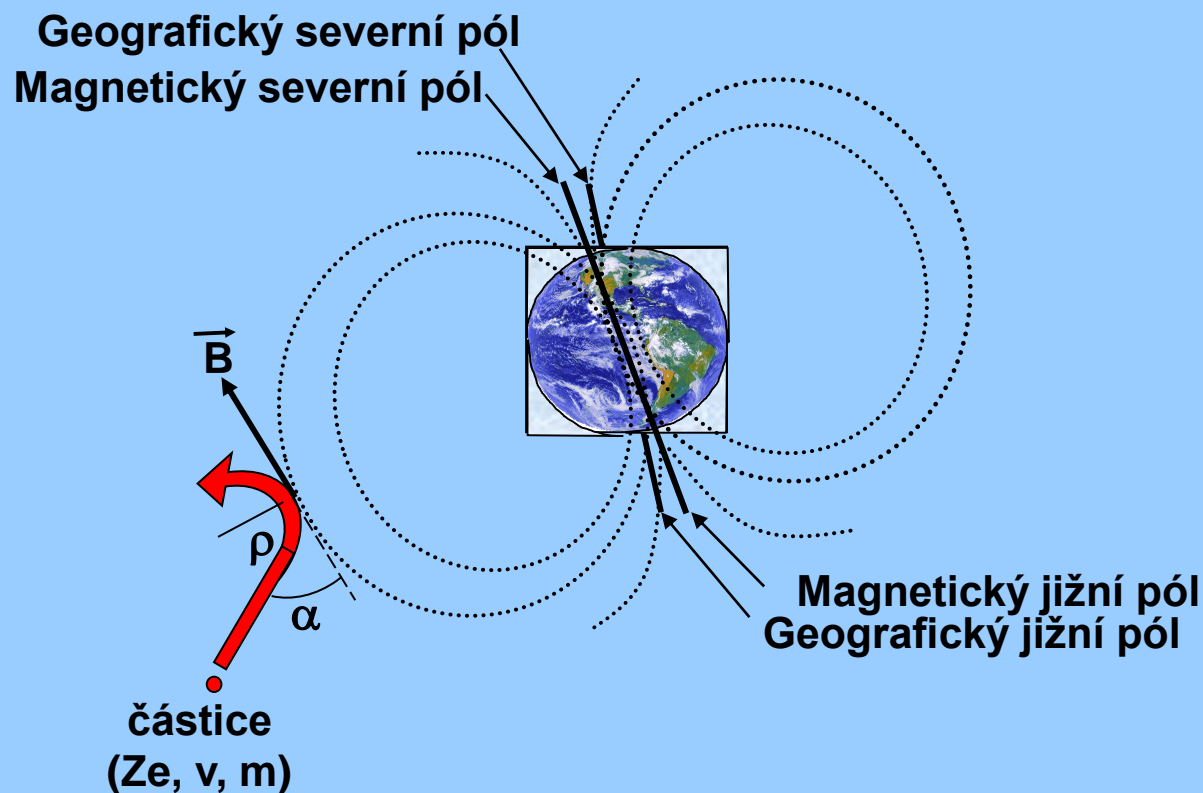


**Kosmogenní radionuklidy** – radiogenní izotopy vznikající štěpením atomových jader vlivem **vysokoenergetického kosmického záření**.

Působením primárního kosmického záření (vysoce energetické nukleony s energií  $>1$  GeV: 89 % protony,  $<10$  % alfa částice, 1 % jádra těžších prvků;  $<1$  % beta částice) na atomy vzduchu (H, N, O, Ar, Cl) v horních vrstvách atmosféry vznikají **kosmogenní radionuklidy** (např.  $^3\text{He}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ), které se zabudovávají např. do biosféry nebo hydrosféry.



Atmosférická i *in situ* produkce kosmogenních radionuklidů je závislá na **magnetickém poli Země**. Jejich produkce vzrůstá s nadmořskou výškou a magnetickou (zeměpisnou) šířkou.



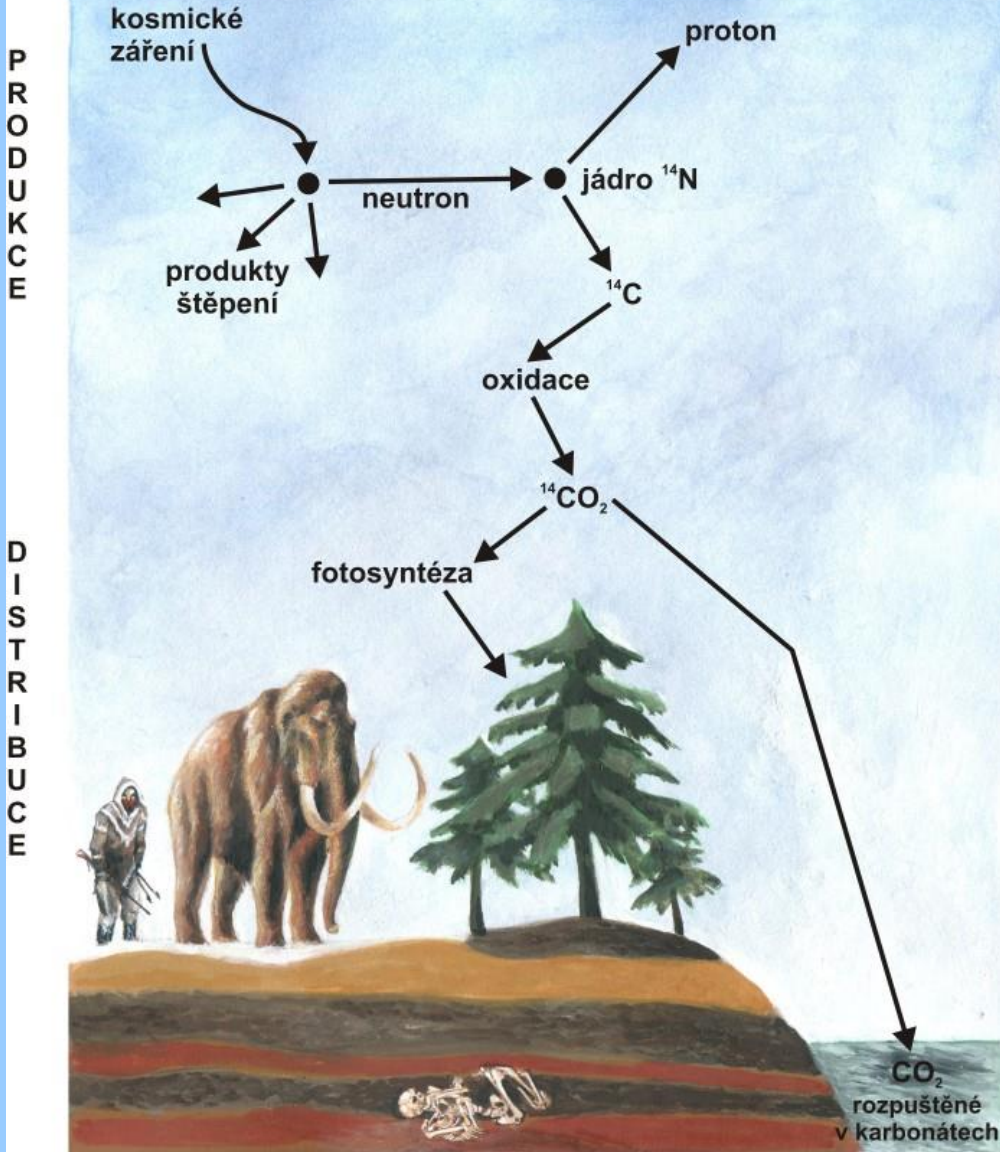
$$B \cdot \rho \cdot c = (m \cdot v \cdot c) / Z_e \cdot \sin \alpha$$



# Radiouhlík – <sup>14</sup>C

Uhlík má **dva stabilní** (<sup>12</sup>C – 98,9 % a <sup>13</sup>C – 1,1 %) a **jeden radiogenní** (<sup>14</sup>C) izotop rozpadající se na <sup>14</sup>N s emisí β záření. Radiouhlík **vzniká v atmosféře** na hranici troposféry a stratosféry a především ve vyšších geomagnetických šířkách **při srážkách** vysokoenergetických neutronů s molekulou dusíku (N<sub>2</sub>).

**V troposféře** je v důsledku proudění „téměř“ homogenně rozšířen a reaguje s kyslíkem za vzniku <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. Ten se dostává **fotosyntézou do rostlin** a dále potravním řetězcem **do zvířat a člověka** (globální cyklus uhlíku). Z atmosféry se dostává také do mořské i sladké vody, proto je **zabudován do vlastních těl** také **vodními organismy**.



ROZPAD

rovnovážná koncentrace:  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} \approx 10^{-12}$

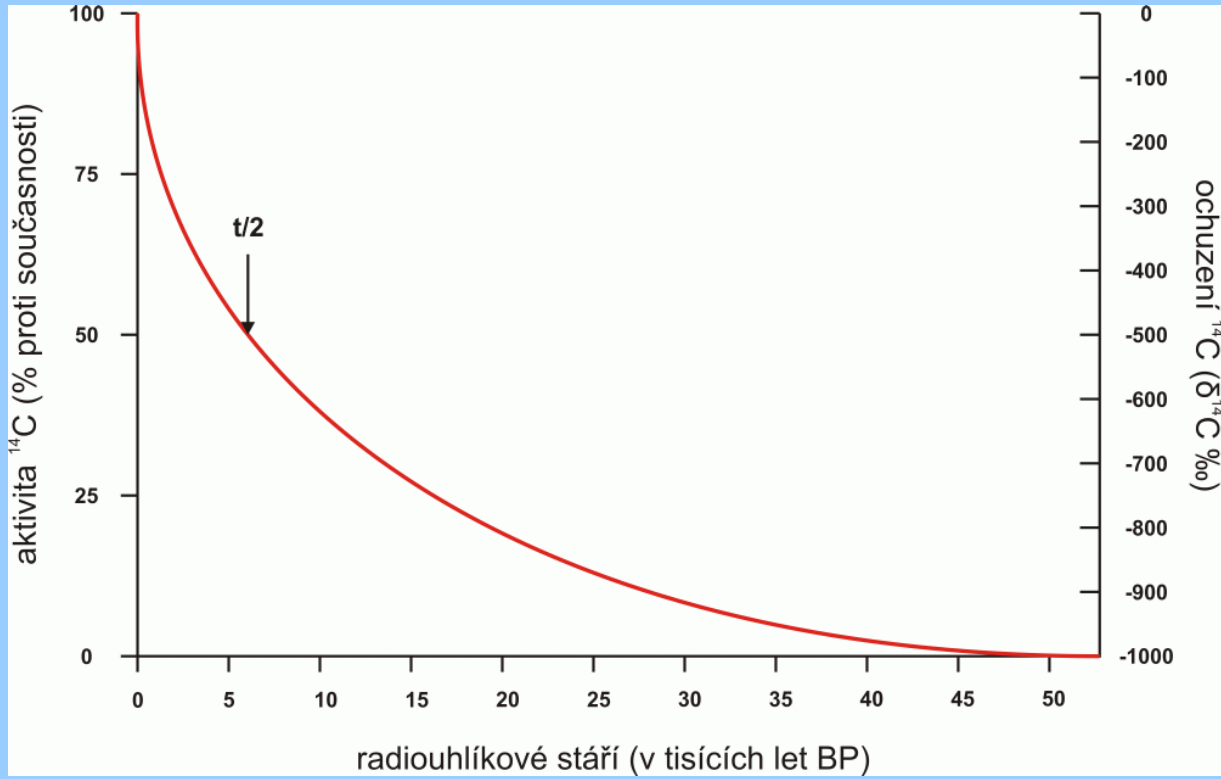
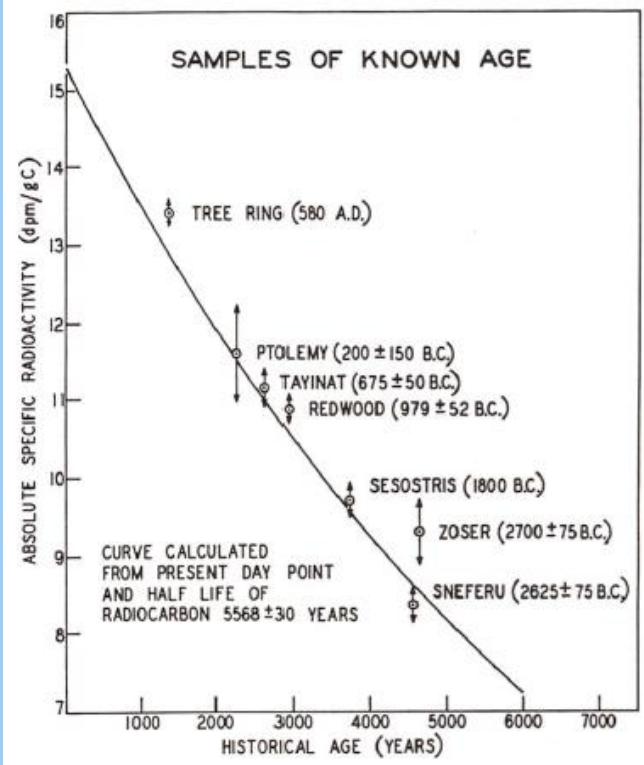
rozpad:  $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \nu^-$

poločas rozpadu: 5730 let

1 gram  $\rightarrow$  ~10 rozpadů za minutu

# Radiouhlík – $^{14}\text{C}$

**Poločas rozpadu (přeměny) izotopu  $^{14}\text{C}$  je  $5730 \pm 40$  let** (tzv. cambridgeský poločas rozpadu). Původní poločas rozpadu použitý W. F. Libbym (1949) byl  $5568 \pm 30$  let.



**W.F. Libby – Nobel Prize winner 1960** – „Seldom has a single discovery in chemistry had such an impact on the thinking in so many fields of human endeavor.“ Nobel Committee (1960)

# Radiouhlíkové datování

**Jaký materiál datujeme?** dřevo, rašelinu, organické jezerní sedimenty, karbonáty, zbytky rostlin, uhlíky, ulity měkkýšů, korály, CO<sub>2</sub> rozpuštěné ve vodě, kosti, papír, látky, kůže, pigmenty...

**Jak starý materiál lze odatovat?** běžně osminásobek poločasu rozpadu, tedy ~ 45 tisíc let, max. 60–65 tisíc let

**Co z laboratoře dostanete?** laboratorní kód vzorku; konvenční radiouhlíkové stáří BP s interní chybou  $\pm 1\sigma$

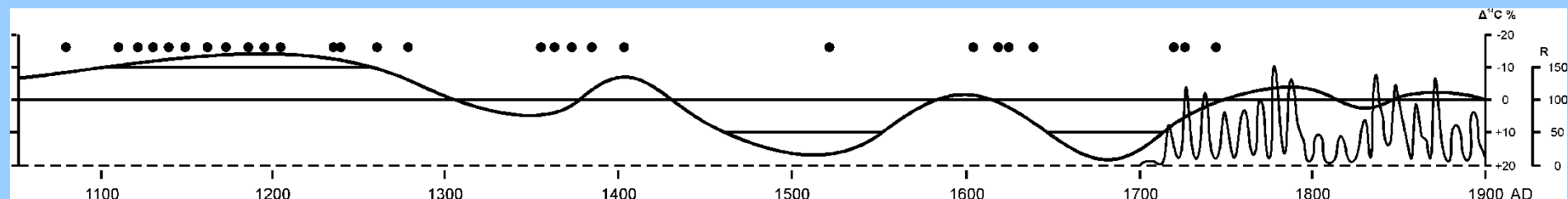
standardně udáváno **BP** (konvenčně před rokem 1950 AD/CE/n.l.)



## Kalibrace radiouhlíkových dat

Prvotním přiblížením bylo uvažováno, že **produkce radiogenního uhlíku je stálá v čase a v prostoru** a že mezi jeho produkcí a rozpadem je tedy v přírodě dlouhodobá dynamická rovnováha. Avšak již v roce 1958 de Vries studiem letokruhů ukázal, že stáří získaná jako konvenční radiouhlíková stáří neodpovídají stářím ročních přírůstků.

**Produkce radiogenního uhlíku v atmosféře je totiž v čase a prostoru nerovnoměrná** (dochází ke kvaziperiodickým změnám atmosférické aktivity  $^{14}\text{C}$  v periodách od 200 do 2300 let, myšleno na krátkých časových škálách).



Ta souvisí především se **změnami intenzity kosmického záření pronikajícího do atmosféry** v důsledku **změn geomagnetického pole** a **solární aktivity** a s některými pozemskými procesy (především změny mořského proudění).

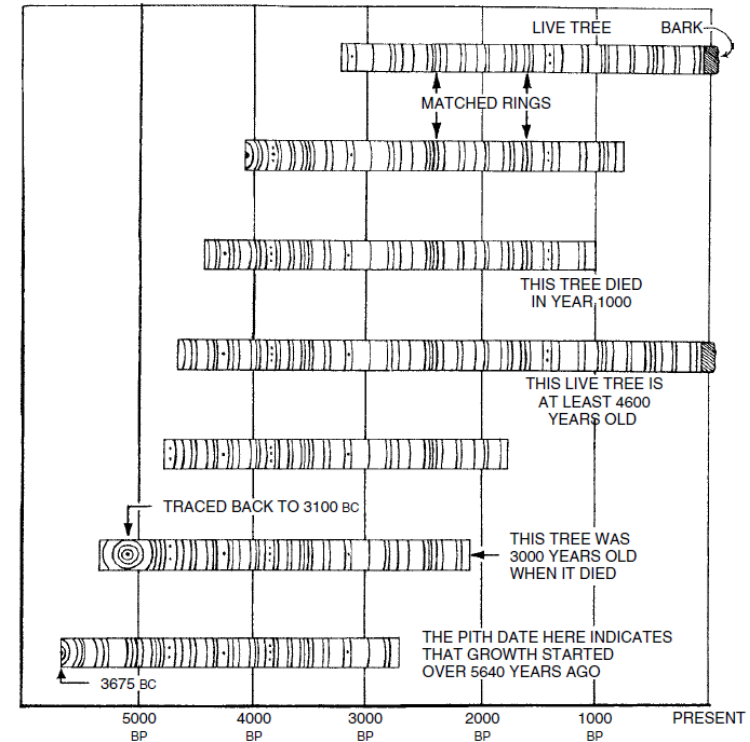
Od průmyslové revoluce významný **vliv člověka** na frakcionaci uhlíku v atmosféře (**spalování fosilních paliv** ředí radiogenní uhlík v atmosféře dodáváním izotopicky lehčí směsi uhlíku bez  $^{14}\text{C}$  – tzv. **Suessův efekt**; naopak **termonukleární výbuchy** zvyšují podíl radiogenního uhlíku v atmosféře na hodnoty, které nemají v přírodní historii obdoby).

# Jaké jsou nejčastější metody kalibrace radiouhlíkového stáří?

**Dendrochronologická kalibrace** – přímé srovnání letokruhů datovaných radiouhlíkovou metodou a jejich přesného stáří stanoveného dendrochronologicky – dnes kalibrace po stáří 13.900 cal. let BP podle nejdelší dendrochronologické řady (dubová a borovicová křivka z Německa a Švýcarska).

**Varvová chronologie, mělkomořské laminované sedimenty, speleotémy**

**Srovnání s jinými datovacími metodami**



# Kosmogenní radionuklidy

Sekundární radiací mezonů K a π (rozpadajících se na miony) a zejména energetických nukleonů (nejčastěji neutronů s energií >10 MeV) vznikají přímo na zemském povrchu **in situ tvořené kosmogenní radionuklidy** (TCN – terrestrial in situ cosmogenic nuclides:  $^3\text{He}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{21}\text{Ne}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ).

## In situ produkce kosmonuklidů:

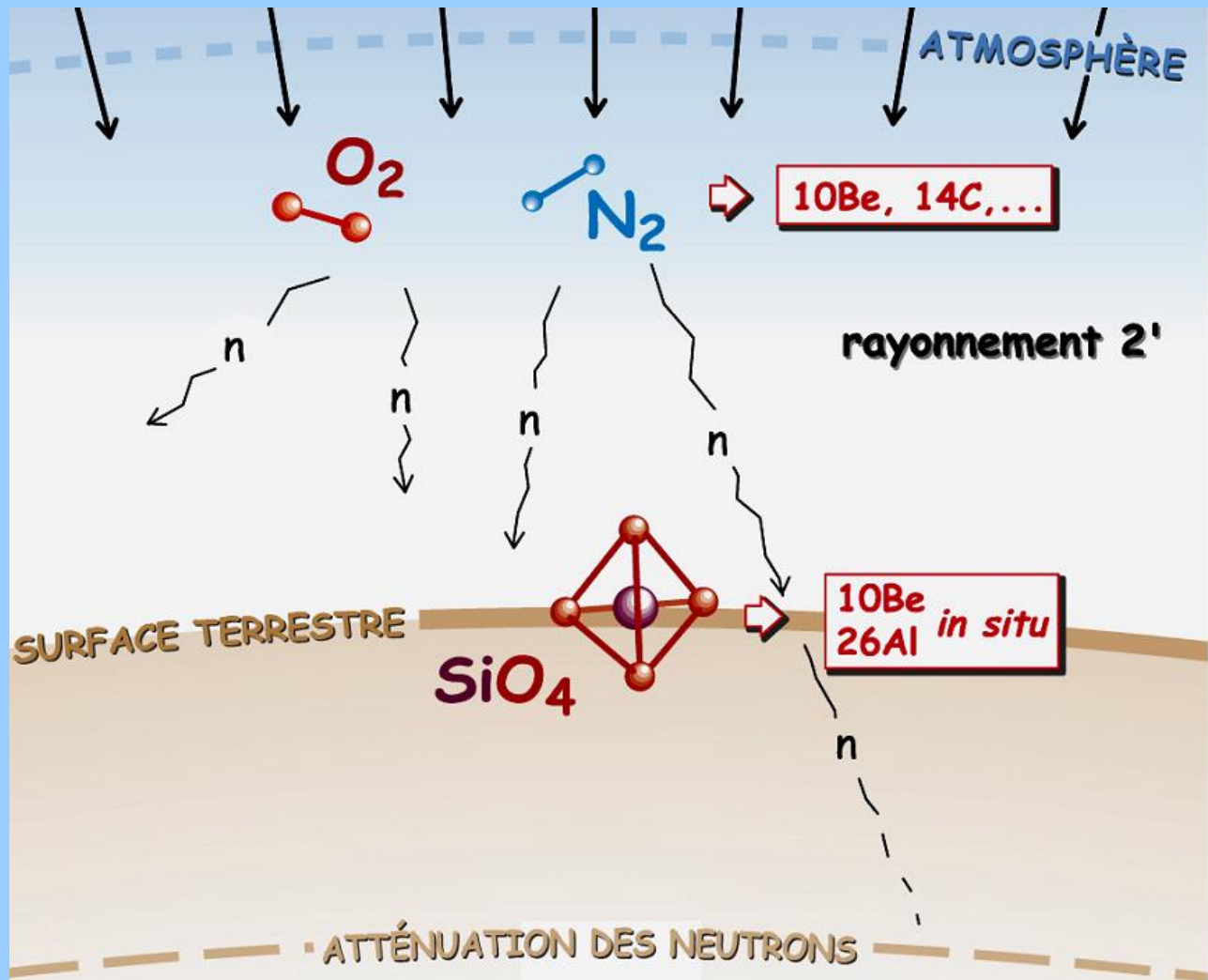
$^3\text{He}$ : 75–100 at·g<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>

$^{10}\text{Be}$ : 4–7 at·g<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>

$^{21}\text{Ne}$ : 18–21 at·g<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>

$^{26}\text{Al}$ : 30–36 at·g<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>

$^{36}\text{Cl}$ : 8–10 at·g<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>



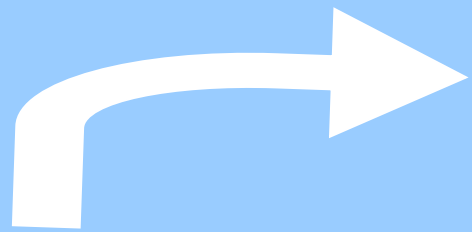
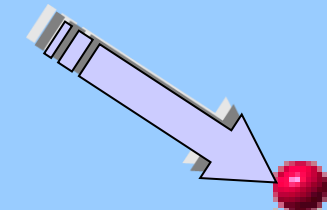
rayonnement 2'

# Produkce $^{10}\text{Be}$ v krystalové mřížce křemene

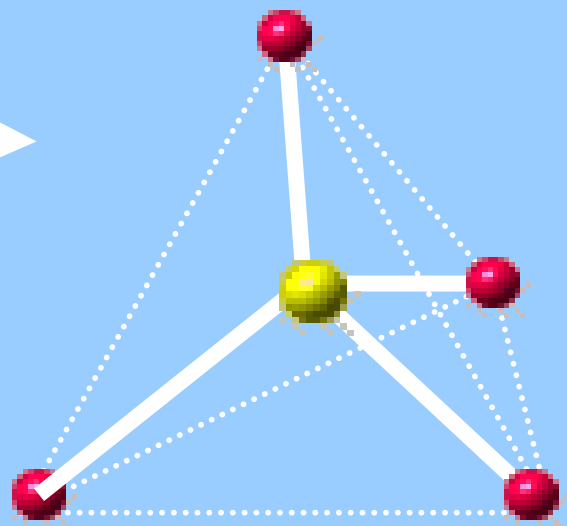
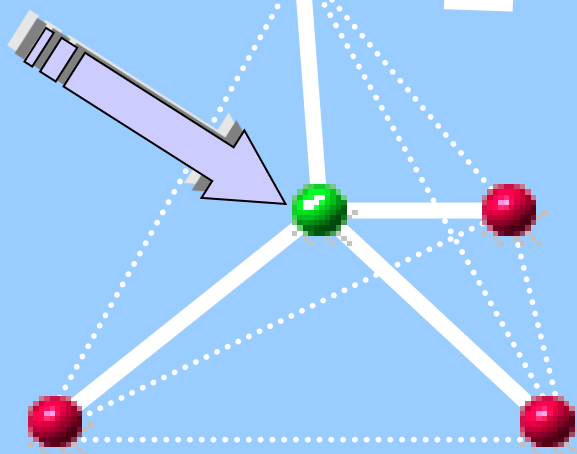
$^{10}\text{Be}$  atm  $T_{1/2} = 1.387 \pm 0.012$  Ma

sekundární radiace (>10 MeV)

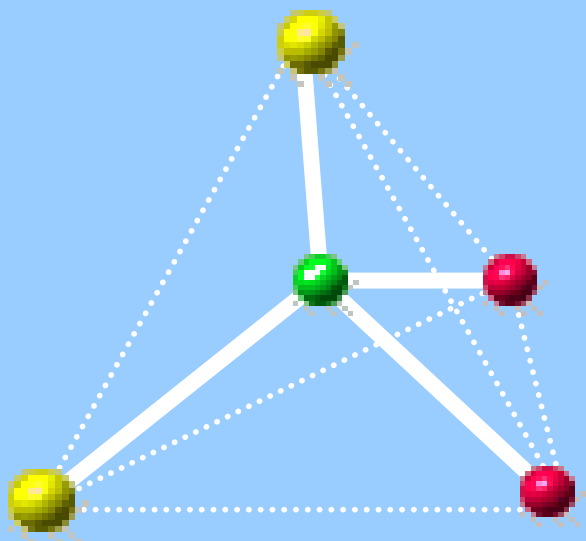
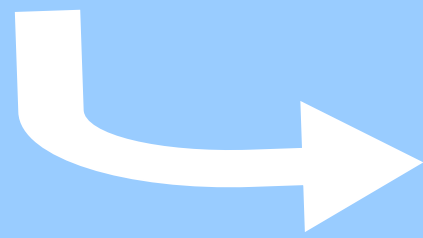
energetické nukleony



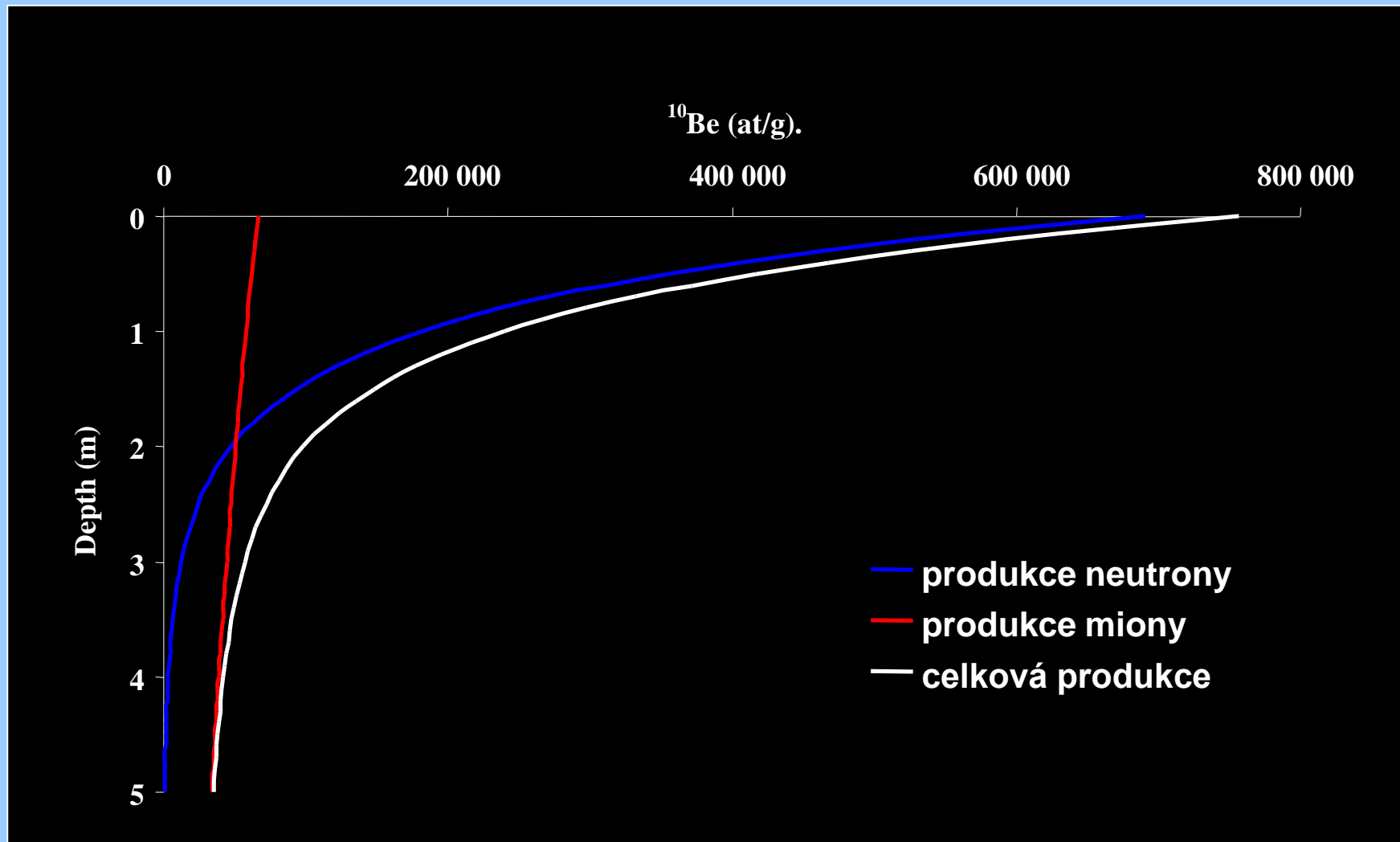
mezony



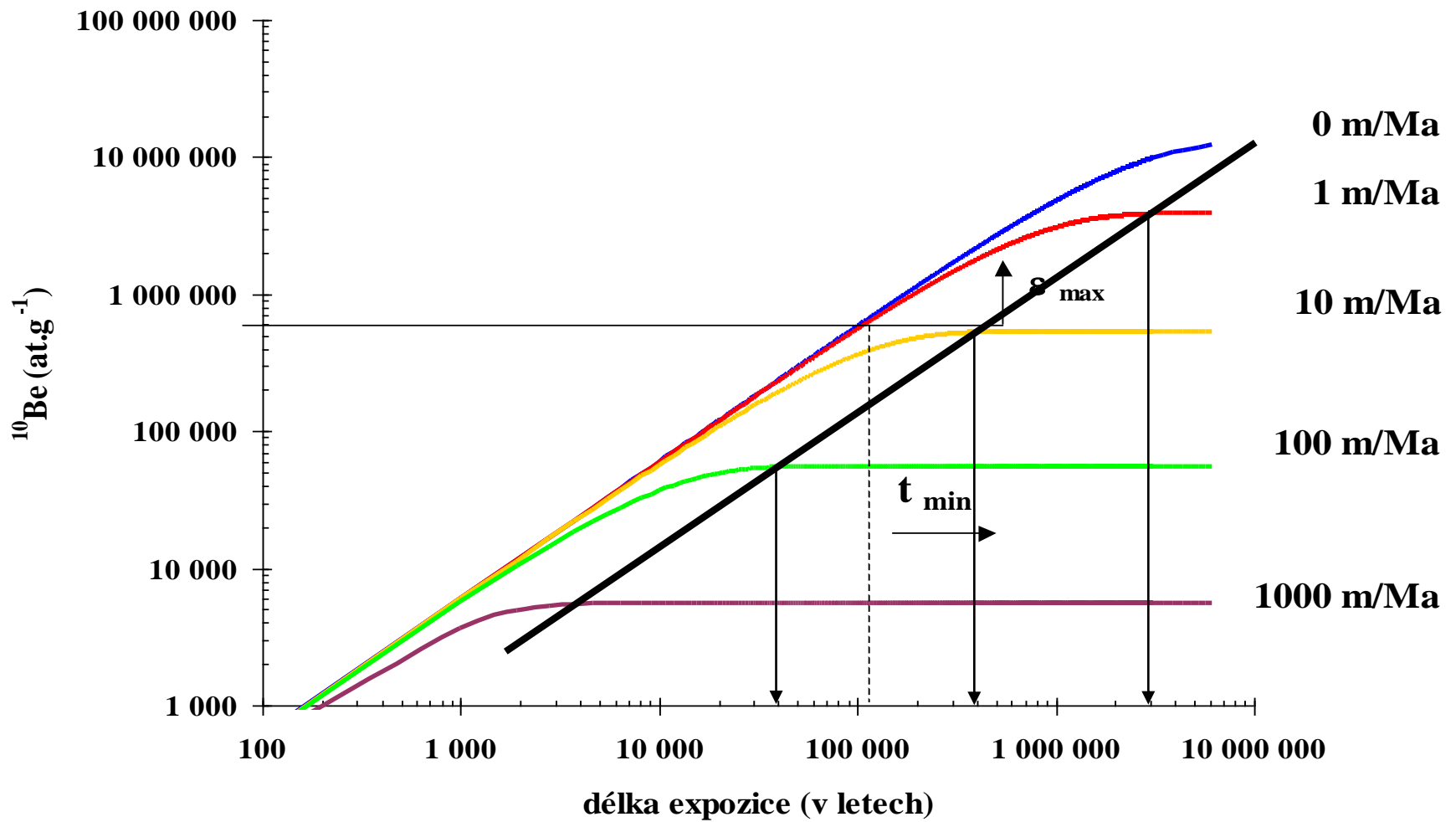
- $^{10}\text{Be}$  
- $^{16}\text{O}$  
- $^{28}\text{Si}$  



# Koncentrace $^{10}\text{Be}$ v závislosti na hloubce



# Závislost povrchové koncentrace $^{10}\text{Be}$ na erozi povrchu





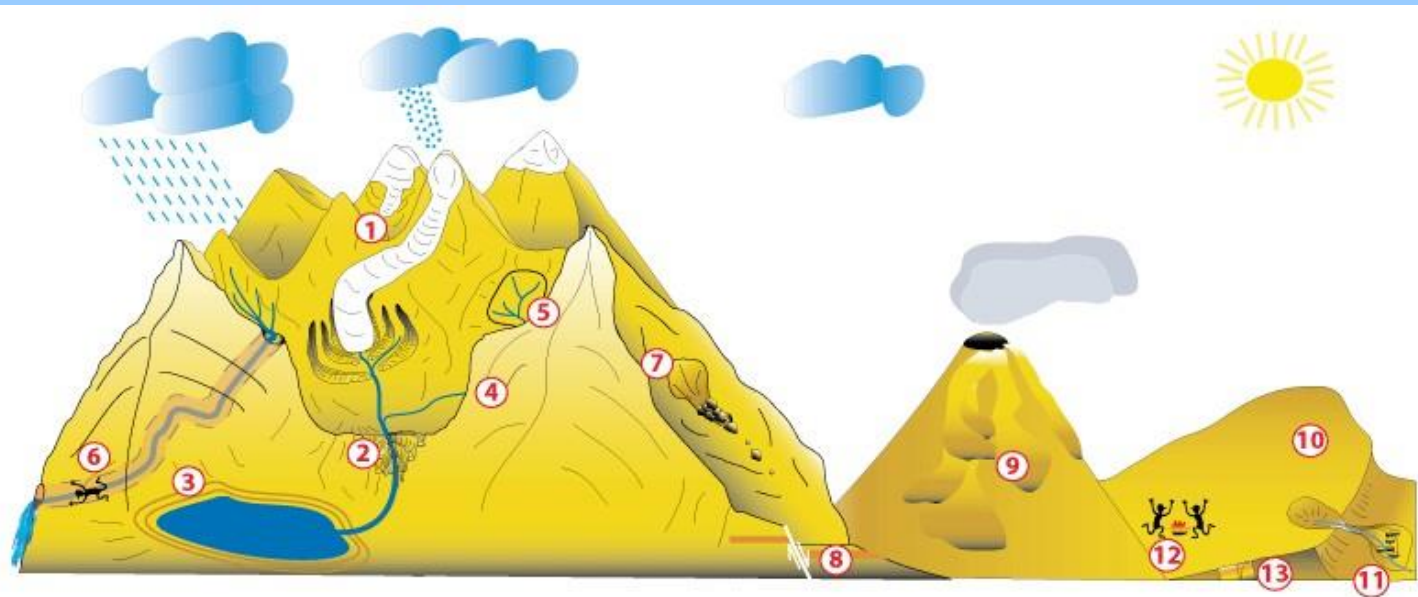
# Výpočet expozičního stáří povrchu kosmogenními radionuklidy

**CRONUS-Earth online calculators** (<http://hess.ess.washington.edu/math/>)

**CosmoCalc** (An Excel Add-In for cosmogenic nuclide calculations)

(<http://sites.google.com/site/cosmocalc/>)

## Aplikace kosmogenních radionuklidů

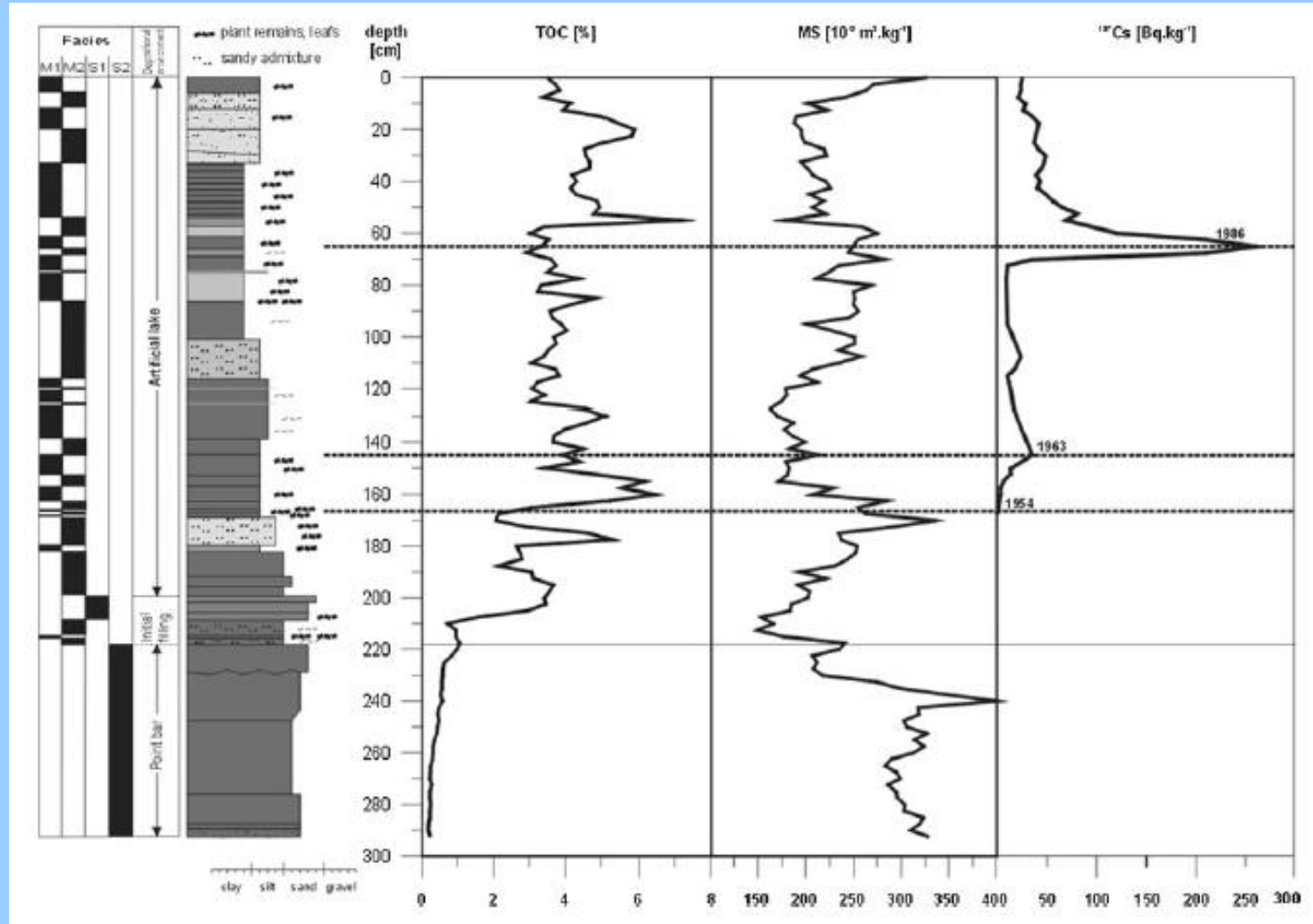


- |  |   |                                  |
|--|---|----------------------------------|
| ① glacial chronologies<br>(alpine, ice-sheets)             | ⑤ catchment wide<br>denudation rates                  | ⑨ volcanic eruption chronologies |
| ② fluvial chronologies<br>(terraces, incision)             | ⑥ burial chronologies<br>(caves, terraces, paleosols) | ⑩ desert chronologies            |
| ③ shoreline chronologies<br>(terraces, lacustrine, marine) | ⑦ landslide chronologies                              | ⑪ alluvial fan chronologies      |
| ④ hillslope rates  | ⑧ fault scarp chronologies                            | ⑫ archeology                     |
|  |   | ⑬ pedogenic chronologies         |

# Datování pomocí izotopů s krátkým poločasem rozpadu

$^{137}\text{Cs}$  (poločas rozpadu 30 let), vhodné pro jezerní sedimenty, rašeliny

- vzniká v důsledku termojaderných výbuchů, v prostředí se významněji objevuje kolem roku **1954**, maximum v roce **1963/1964** a pro Evropu **1986** a nejnověji pro rok **2011**.



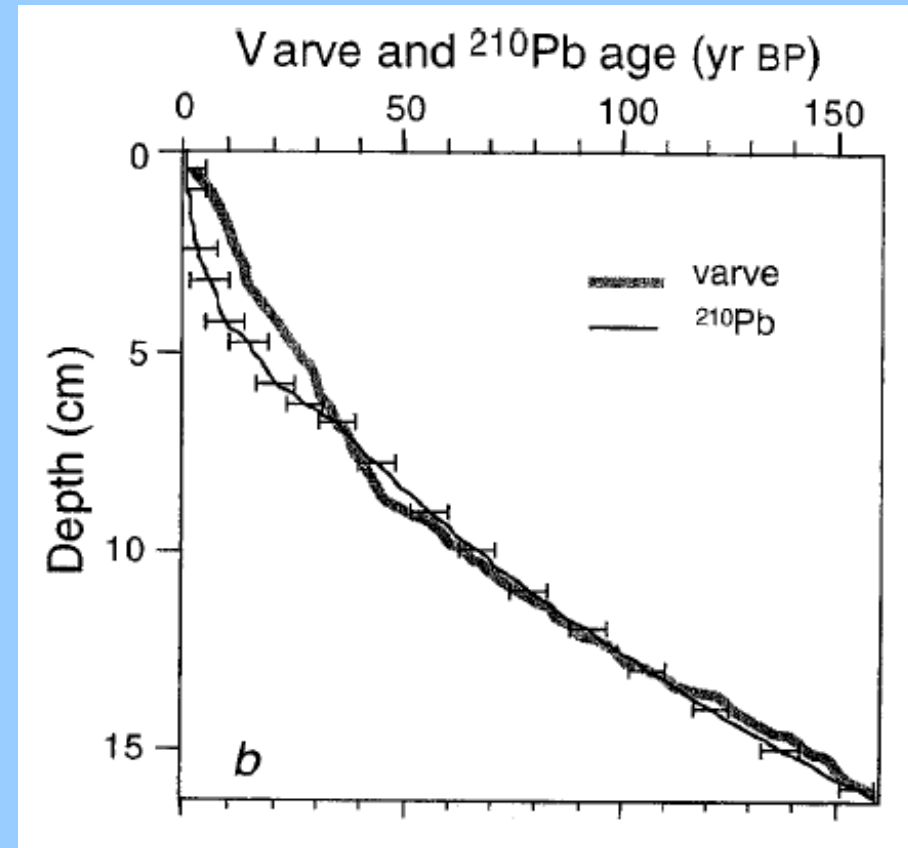


**$^{210}\text{Pb}$  (poločas rozpadu 22,26 let)**, vzniká rozpadem  $^{222}\text{Rn}$  a rozpadá se na  $^{206}\text{Pb}$ , které je již stabilní

- použitelnost pro posledních ~ 200 let, **pro jezerní sedimenty, rašeliny**
- dva modely pro výpočet stáří:

1) **konstantní počáteční koncentrace (CIC)  $^{210}\text{Pb}$**  v rámci celého profilu, což v průběhu času vede k monotónnímu úbytku koncentrací  $^{210}\text{Pb}$  směrem do hloubky. Bohužel změny v rychlosti sedimentace v dané pánvi obvykle neumožní konstantní počáteční koncentraci  $^{210}\text{Pb}$ .

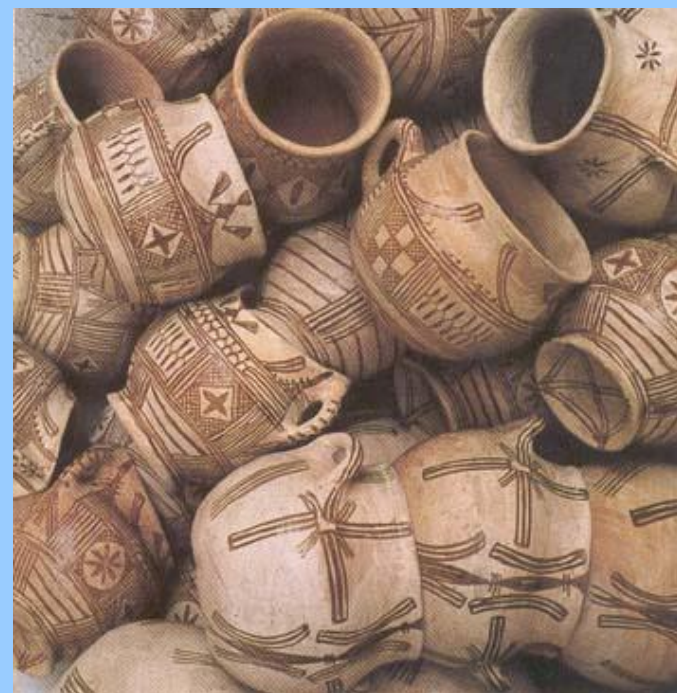
2) Proto je častěji využíván druhý model, který předpokládá **konstantní rychlost přísunu (CRS)  $^{210}\text{Pb}$**  během posledních 150–200 let.



## Luminiscenční datovací metody

**Termoluminiscence (TL)** – standardně měřen křemen nebo živce, ale principiálně mohou být použity i jiné minerály.

**Datovatelný materiál:** keramika, vypálené sedimenty, cihly, kachle, přepálené artefakty a kameny, vulkanické produkty, spraše, jezerní sedimenty a dokonce hlubokomořské sedimenty.



**Laboratorní měření:** separovaný křemen nebo živec je zahříván na  $>500\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vyzářené světlo je pomocí fotonásobičů převáděno na elektrické impulzy.

**Intenzita TL** je vynášena vůči teplotě – dostaneme **křivku záření**, v níž vrcholy odpovídají prožité termální historii jednotlivých populací elektronových pastí ve vzorku.

**Přírodní TL signál je srovnáván s umělým signálem** získaným tak, že část vzorku vystavujeme známým dávkám záření z kalibrovaného zdroje radioizotopů. To nám umožňuje stanovit **ekvivalentní dávku (paleodávka;  $D_E$ )**, která odpovídá množství záření, které by bylo zapotřebí k vytvoření stejného TL signálu, který daný vzorek získal během posledního vynulování.

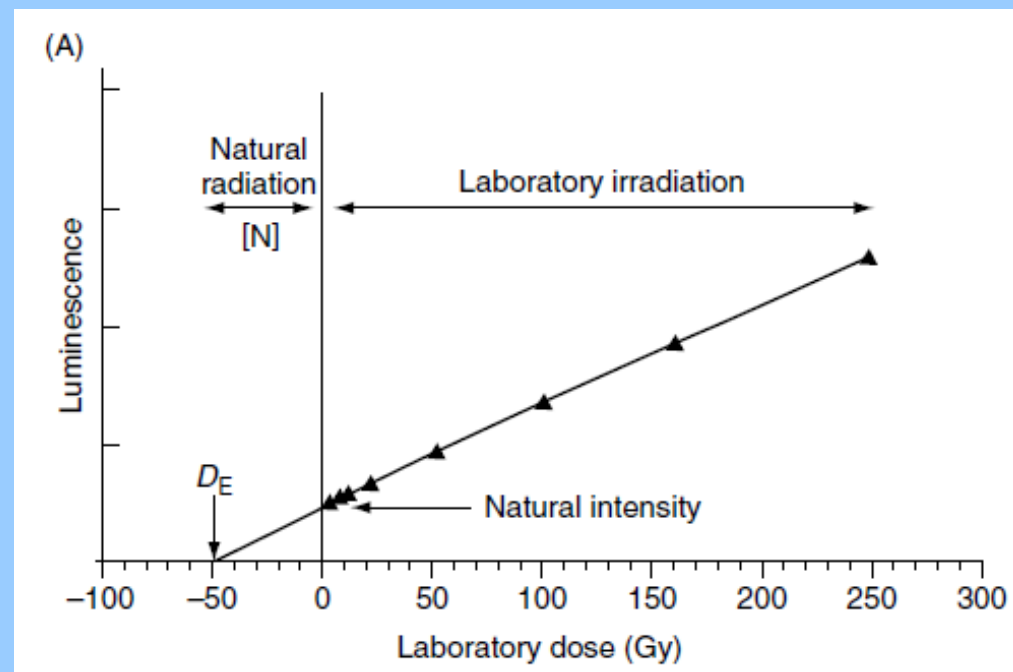
## Optická luminiscence (OSL)

- obdobný přístup, jen luminiscence je indukována zeleným světlem,

- dnes pro datování sedimentů již TL skoro není používána,

- v poslední době se významně využívá **datování jednotlivých křemenných zrn**, které umožňuje zjistit, jestli všechna zrna v daném

vzorku mají stejná zdánlivá stáří. Tato zdánlivá stáří mohou být různá, protože např. některá z nich nebyla vůbec vystavena slunečnímu záření po dostatečně dlouhou dobu, aby byl vynulován jejich luminiscenční signál a nebo protože sediment obsahuje různě starý materiál.



## Infračervená luminiscence (IRSL)

- pouze pro živce

- IR záření generuje mnohem silnější luminiscenční signál, což je speciálně pro živce důležité, protože živce se obecně výrazně hůře nulují, než křemen

## Elektronová spinová rezonance (ESR)

Podobný princip jako u luminiscenčních metod (také je třeba stanovit **ekvivalentní a roční dávku**). Ale tato **metoda je nedestruktivní** a nedochází při měření k uvolnění elektronů zachycených v krystalové mřížce. Je stanovováno jejich množství na základě jejich paramagnetických vlastností. Vzorek je měřen **v silném magnetickém poli** a vystaven **vysokofrekvenční elektromagnetické radiaci**. Magnetické pole se pomalu mění a **při určité frekvenci** se začnou **elektrony excitovat a rezonují**.

Rezonance je měřena ESR spektrometrem, kde počet rezonujících elektronů, který udává stáří vzorku, měříme absorpcí elektromagnetické energie.

**Datovatelný materiál:** speleotémy, zubní sklovina, koráli, měkkýši, přepálené artefakty, vulkanity

**Dosah metody:** od pár tisíců let až teoreticky do 2 miliónů let. Ale přesnost metody je poměrně nízká, chyba bývá obvykle >10 %.

## Štěpné stopy v minerálech a datování termálních událostí

Je založena na **rozpadu jader atomů  $^{238}\text{U}$**  (poločas rozpadu  $\sim 10^{16}$  let), štěpení je spojeno se vznikem neutronů a štěpných produktů. Tyto štěpné úlomky získávají značnou energii a při průchodu nabitě částice hmotou (krystalem minerálu) způsobují štěpné produkty trvalé poškození – tzv. **latentní štěpnou stopu**. Pro určení stáří vzorku je nutné stanovit objemovou hustotu spontánních latentních štěpných stop  $^{238}\text{U}$ , která je funkcí obsahu uranu a stáří. Štěpné stopy mohou být zviditelněny a studovány pod mikroskopem.

Nejčastější metodou ke zjištění koncentrace uranu je **objemová hustota indukovaných štěpných stop  $^{235}\text{U}$** , které lze získat při bombardování jader tohoto izotopu pomalými (termálními) neutrony v jaderném reaktoru. Stáří jednotlivých zrn je vypočteno z poměru spontánního a indukovaného počtu štěpných stop a neutronového toku. Metoda spontánního štěpení  $^{238}\text{U}$  je nejčastěji kalibrována pro studium časově-teplotního záznamu vývoje hornin pro zirkony a apatity v rozmezí  $\sim 60\text{--}125\text{ }^\circ\text{C}$  pro apatity a  $210\text{--}310\text{ }^\circ\text{C}$  pro zirkony.

### aplikace

- stanovení časově-teplotního modelu výzdvihu/subsidence sediment. pánví
- stanovení provenience detritického materiálu

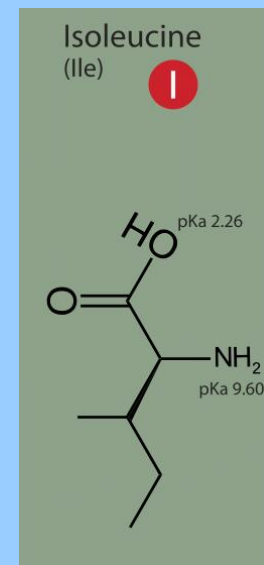
## Racemizace aminokyselin

Datovací technika využívající **změn aminokyselin od jejich vzniku**. Všechny aminokyseliny kromě glycinu (nepolární) jsou díky přítomnosti chirálního uhlíku opticky aktivní (stáčivé) a mají schopnost stáčet rovinu polarizovaného světla vlevo (L-) nebo vpravo (D-) a tvoří zrcadlově odlišné páry. Až na výjimky tvoří **živé organismy levotočivé aminokyseliny**. **Po smrti** daného **organismu** se **aminokyseliny** postupně mění na **pravotočivé**, čemuž se říká racemizace. Stanovení **poměru L- a D- aminokyselin** lze proto určit ke stanovení **doby**, která proběhla **od smrti** daného **organismu**.

Rychlost přeměny je ovlivněná především *teplotou*, *vlhkostí* a *kyselostí substrátu*, což ovlivňuje jak časový dosah metody, tak i její přesnost. V běžných podmínkách je dosah až 2 Ma a chyba ~20 %, při záporných teplotách se časový dosah může prodloužit až na 10 Ma.

Nejčastěji se používá **L-iso-leucin**, kapalinovou chromatografií lze sériově stanovovat větší množství aminokyselin, které lze použít pro různá časová rozpětí.

Nejvhodnějším datovatelným materiálem jsou kosti a ulity.

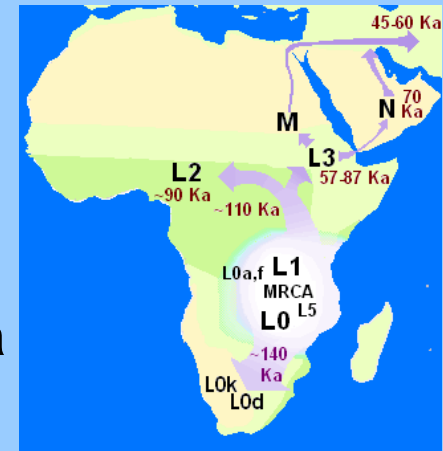




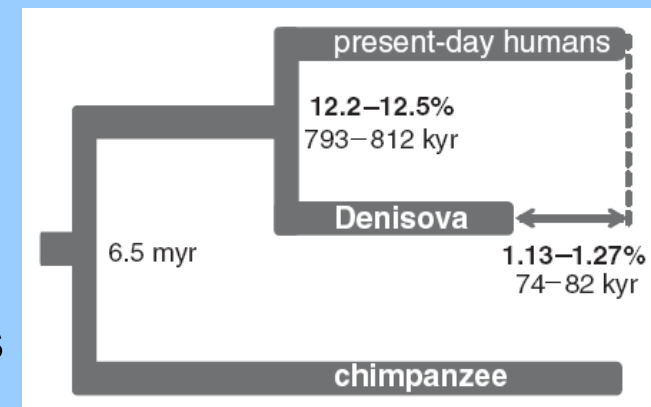
## Molekulární (DNA) hodiny

Metoda založená na předpokladu, že míra mutací v mtDNA je za určitý čas konstantní. Díky tomu je možné stanovit **evoluční vzdálenost** mezi dvěma druhy. Mutace mtDNA se projeví odlišnou stavbou aminokyselin. Nejedná se o absolutní datování, lze tak jen kvantifikovat rozdílné časové úseky evoluční vzdálenosti mezi dvěma druhy. Kalibraci pomocí nezávislých chronologických metod je pak nutné odvodit vlastní stáří.

**Mitochondriální Eva** – tak označujeme ženu, která je v mateřské linii **společným předkem** všech **dnes žijících lidí**. Její MtDNA se postupným děděním rozšířila na veškerou lidskou populaci na světě. Žila zhruba před 200 ka někde ve východní Africe. Nejstarší nalezený Homo sapiens je ~315 ka starý (nálezy z roku 2017 z Maroka).



**Homo denisoviensis (Hominin X)** – mtDNA z prstního článku z vrstvy staré 48–30 ka v Denisově jeskyni (Altaj) ukázala, že se nejedná o neandrtálce, ani o moderního člověka. Od linie vedoucí k modernímu člověku se podle mtDNA **Homo denisoviensis** oddělil před ~800 ka a je tak pro nás vzdálenější, než neandrtálec, jenž se o od předchůdců moderního člověka oddělil před ~470 ka.



## K dalšímu čtení a studiu:

Aitken M.J. (1998): *An Introduction to Optical Dating*. Oxford University Press.

Bradley R.S. (1999): *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*. Second Edition. International Geophysics Series, 64, Academic Press.

Dickin A.P. (2005): *Radiogenic Isotope Geology*. 2nd ed. Cambridge University Press.

Dunai T.J. (2010): *Cosmogenic Nuclides: Principles, Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences*. Cambridge University Press.

Gornitz V., Ed. (2009): *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Springer.

Gosse J.C., Phillips F.M. (2001): Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: Theory and application. *Quaternary Science Reviews* 20, 1475–1560.

Nývtová Fišáková M. (2012): Radiouhlíkové datování. *Přehled výzkumů* 53, 89–99.

Walker M.J.C. (2005): *Quaternary Dating Methods*. Wiley & Sons.

*That's all for this term, folks...*