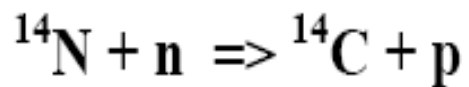


# Radiouhlíková metoda určování stáří vzorků

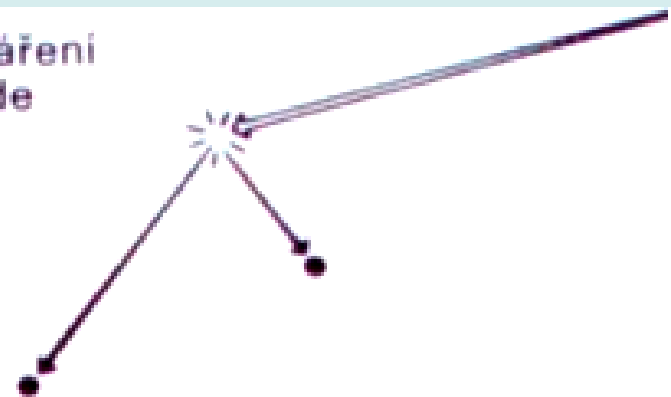
- Radiokarbonová metoda datování (též uhlíková nebo radiouhlíková metoda) je chemicko-fyzikální metoda určená pro zjištění stáří biologického materiálu.
- Je založena na výpočtu z poklesu počtu atomů radioaktivního izotopu uhlíku  $^{14}\text{C}$  v původně živých objektech
- Metoda byla objevena roku 1940 a se používá především v archeologii, kvartérní geologii, hydrogeologii, paleontologii a botanice

# Vznik radioizotopu uhlíku C14

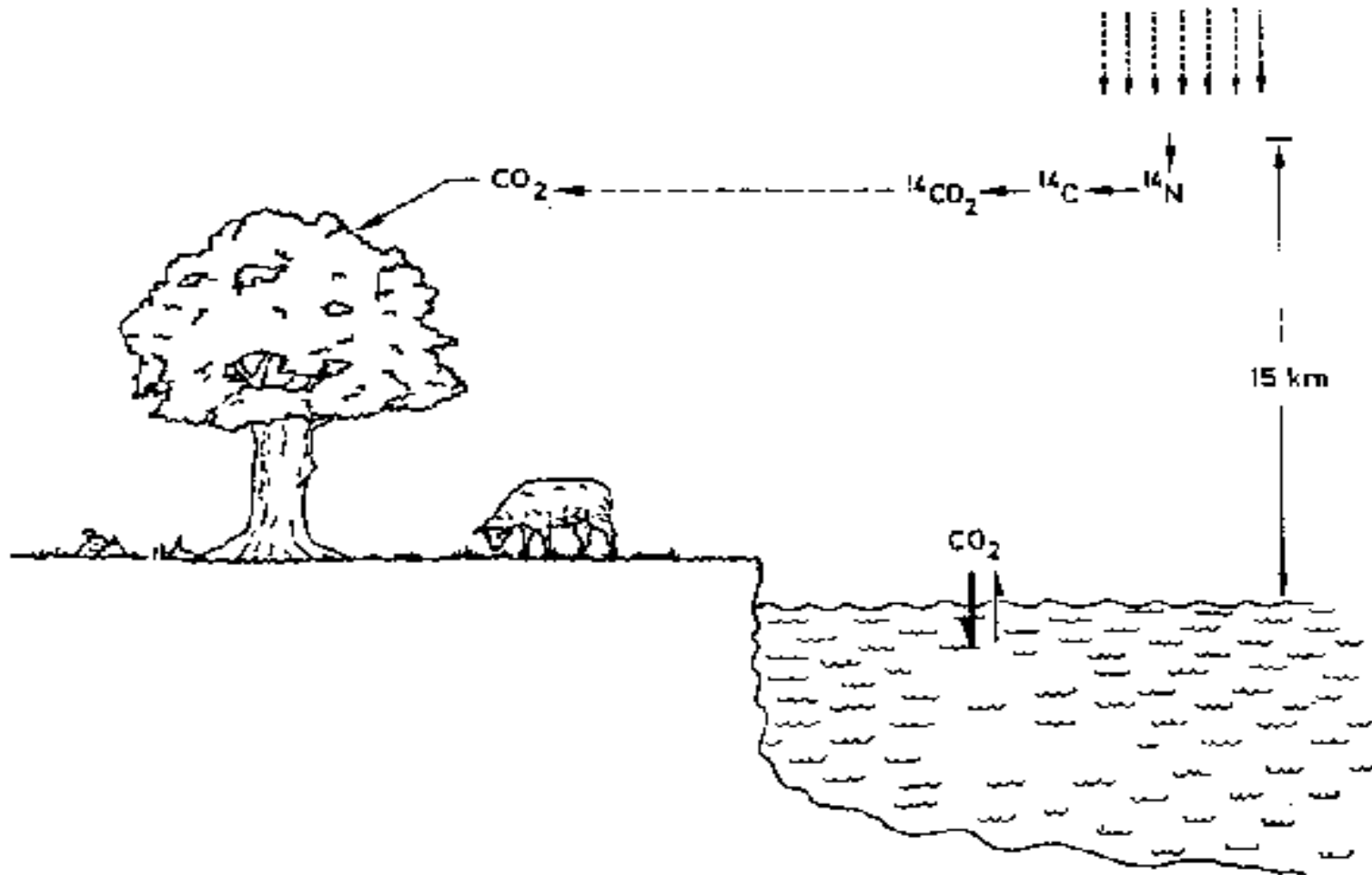
- Atmosféru naší zeměkoule neustále ostřelují paprsky kosmického záření. Tyto paprsky při dopadu na naši atmosféru vyrábějí neutrony, které reagují s atmosférickými atomy dusíku, přičemž způsobují vznik nepatrného množství uhlíku C14.
- Poločas přeměny  $^{14}\text{C}$  je 5730 roků, proto se v atmosféře nehromadí bez omezení. Za předpokladu časově neproměnného toku kosmického záření se postupně ustavila rovnováha mezi produkcí radioaktivního uhlíku a jeho úbytkem radioaktivní přeměnou a tedy i rovnovážný poměr mezi množstvím neaktivního C12 a radioaktivního uhlíku C14 v atmosféře (cca 1 g  $^{14}\text{C}$  na 1012 g vzdušného celkového uhlíku).



Střetnutí kosmického záření s vnější atmosférou vede ke vzniku neutronů

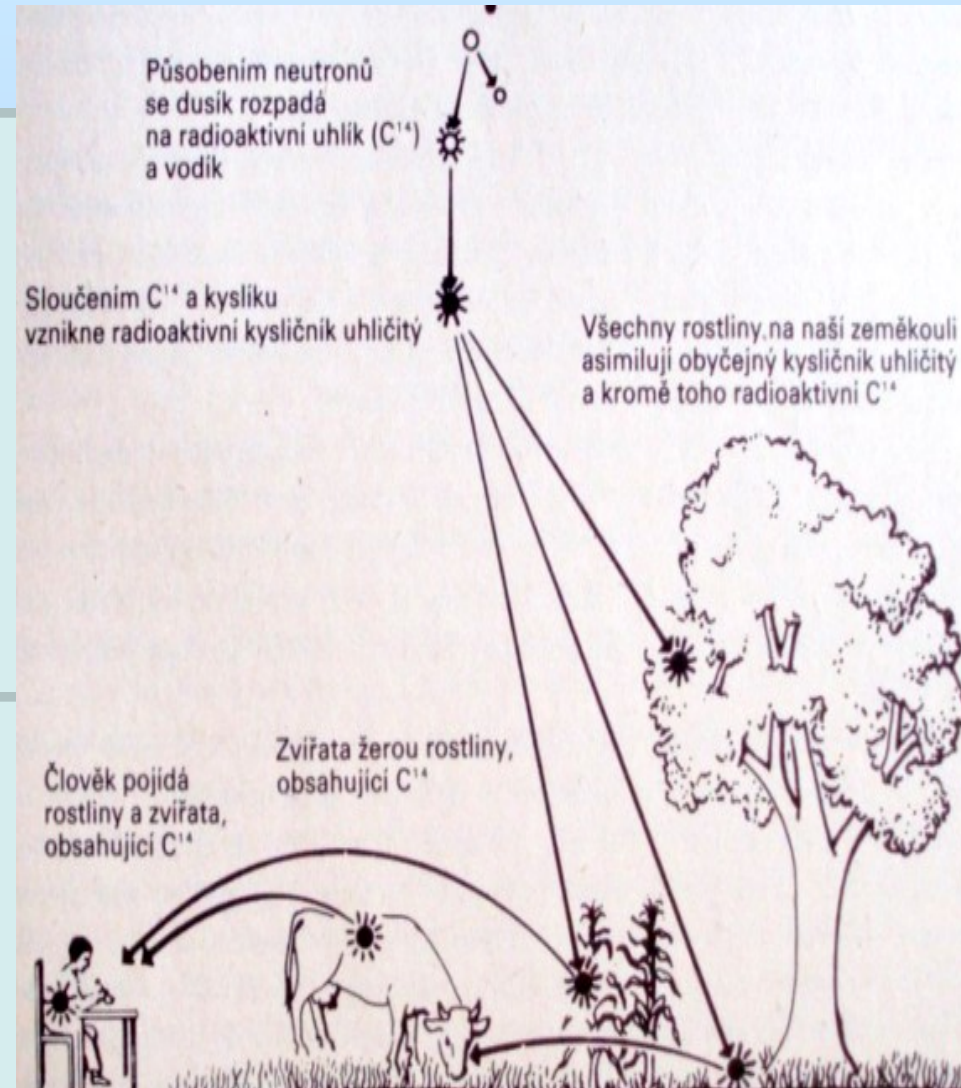


# Koloběh C14 v atmosféře a biosféře

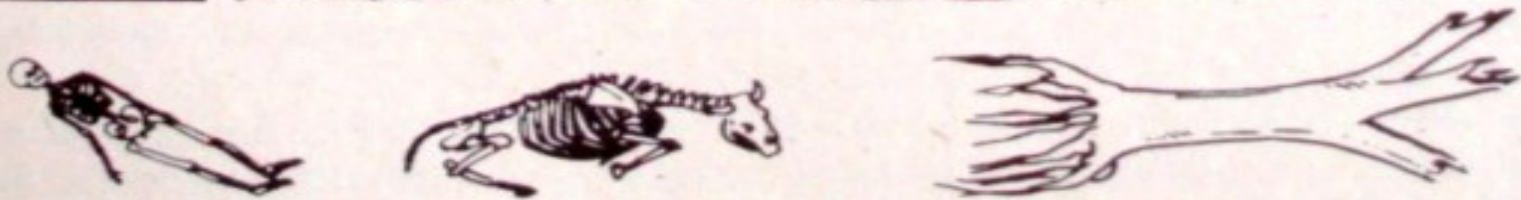
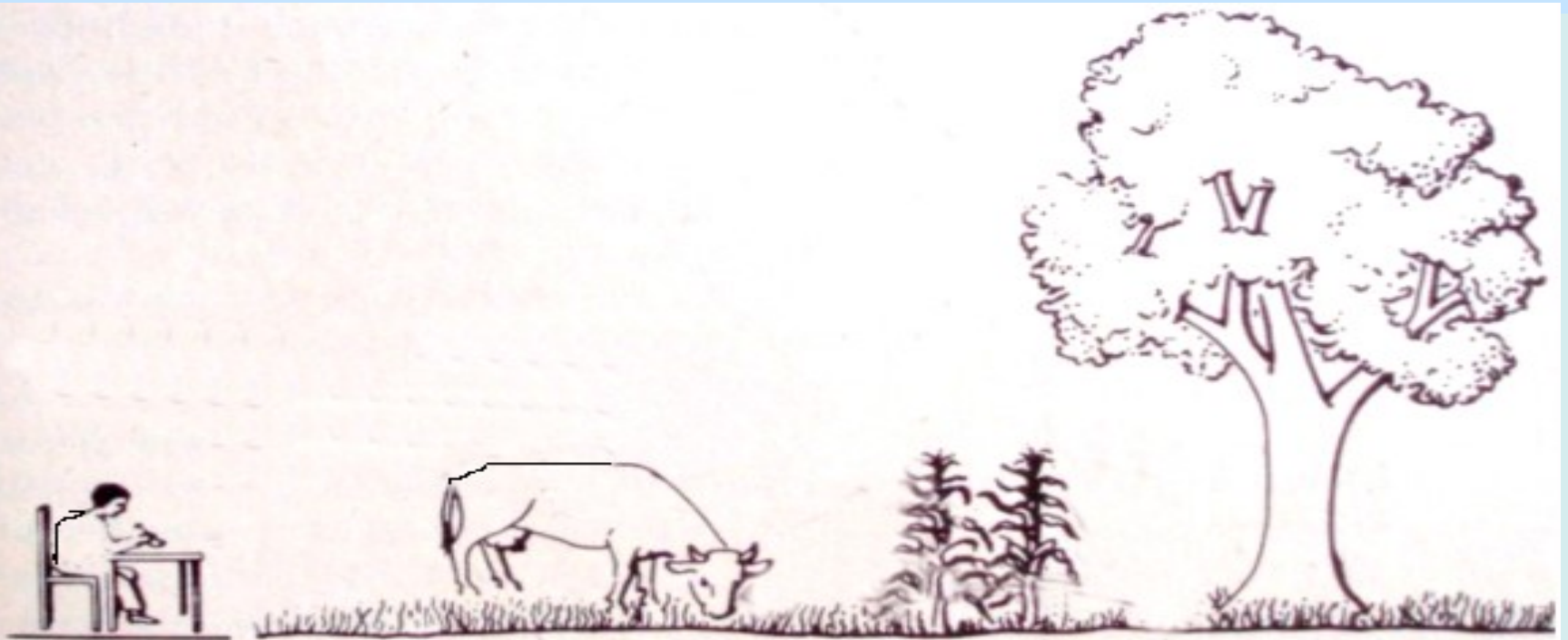


# Výskyt C14 v organismech

- ❑ Radioaktivní uhlík se smísí s běžným uhlíkem C12 vytváří v atmosféře oxid uhličitý
- ❑ Oxid uhličitý, v němž je nepatrné množství C14, spotřebovávají rostliny. Pomocí fotosyntézy ho přivádějí do svého organismu
- ❑ Rostlinnou stravou přechází C14 také do všech živočichů i lidí.



# Radiouhlík ve zbytcích organismů



Po smrti člověka, zvířete a rostliny se  $C^{14}$  rozpadá na  $C^{12}$  při poločasu rozpadu 5730 let. Z poměru  $C^{14}$  k  $C^{12}$  lze usuzovat na stáří organických látek

# Princip metody

- Po zániku organismu (rostliny nebo živočicha) je v jeho tkáni určitý poměr koncentrací  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  a  $^{14}\text{C}$ , který je dán stavem atmosféry v době kdy tento organismus žil.
- Po smrti člověka, zvířete a rostliny se  $^{14}\text{C}$  rozpadá na  $^{12}\text{C}$  při poločasu rozpadu 5 730 let (za tuto dobu poklesne jeho relativní obsah ve vzorku na polovinu).
- Z poměru  $^{14}\text{C}$  k  $^{12}\text{C}$  lze tedy usuzovat na stáří organických látek.
- $^{14}\text{C}$  je slabý  $\beta$  zářič a jeho radioaktivitu lze měřit. Velikost radioaktivity je mírou množství radiouhlíku ve vzorku

# Datované vzorky

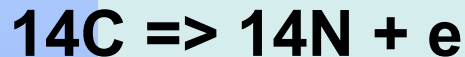
- První úspěchy metody: datování dřevěných předmětů ze staroegyptských hrobů, odhalení padělku faraonského sarkofágu, který původně oklamal i jednoho z nejvýznamnějších egyptologů své doby J. H. Breasteda.
- Datovatelné nálezy: dřevo (i zuhelnatělé z dávných ohnišť), dřevěné uhlí, obilní zrna, kosti, rašelina, ulity a skořápky, usazeniny, papír, kůže, atp. (v podstatě cokoliv organického původu).
- Možnost analýzy i vzorků vody (zde pozor na uzavřenost systému – tedy voda z uzavřených systémů). Využití anorganického uhlíku z rozpuštěných uhličitánů ve vodě.

# Měřitelné stáří

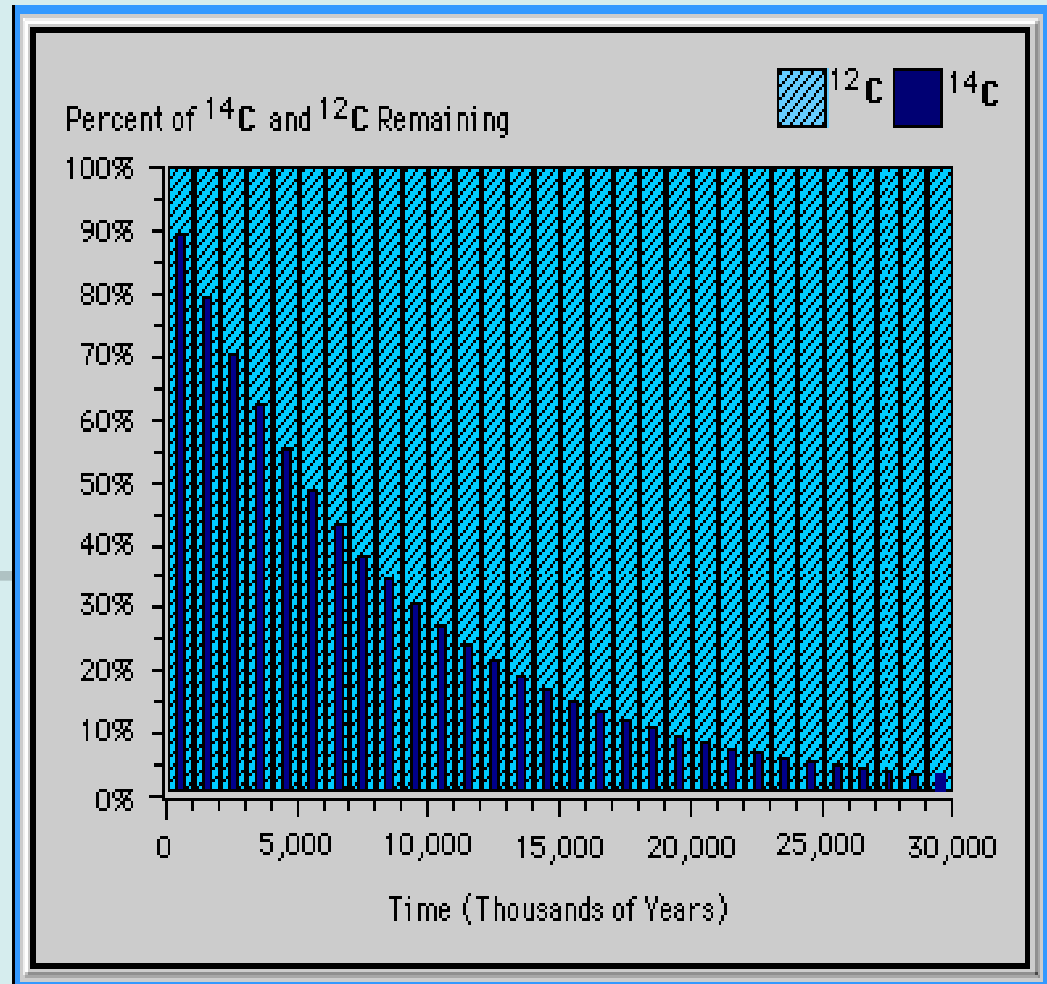
- Měřitelné stáří: do asi 35-50 000 let, chyba v optimálním případě i kolem 1%, s použitím urychlovače jako hmotnostního spektrometru lze jít i dále do minulosti (max. do 80000 let), pak je však již měření zatíženo velkou chybou.
- Použití je omezeno i shora – vzorek musí být starý nejméně 200 let.
- Statistický rozptyl, v jakém vychází datace podle této metody je v řádech desítek, v okrajích časového intervalu i stovky let. Nepřesnost je tak průměrně okolo 1 (- 5) %.



# Úbytek C14 s časem



Radiouhlík vyzáří  $\beta$  částici a změní se zpět na dusík N14



# Postup výpočtu

Po odumření rostliny či živočicha:

- a) zastaví se přísun nového  $^{14}\text{C}$  do organismu,
  - b) původní rovnovážná koncentrace se poruší radioaktivní přeměnou  $^{14}\text{C}$  podle vztahu:
    - Obecně platný fyzikální vztah  $C(t) = C(0) \cdot e^{-\lambda t}$
    - $C(0)$  - rovnovážná koncentrace  $^{14}\text{C}$  v organismu v okamžiku jeho smrti
    - $C(t)$  - koncentrace  $^{14}\text{C}$  po čase  $t$  od smrti
    - $\lambda$  – rozpadová konstanta  $^{14}\text{C}$
- $C(0)$  lze získat ze „současných“ vzorků (předpoklad časové stálosti obsahu  $^{14}\text{C}$  v atmosféře),  $\lambda$  je známá fyzikální konstanta. Změřením současné koncentrace  $C(t)$  a jednoduchým výpočtem se tak dá stanovit čas  $t$*

# Problematika „současného“ vzorku

(nestálost koncentrace C14 v atmosféře zvláště po roce 1950 – jaderné testy v atmosféře 1945-1963)

- *Pojem “současný” vzorek“ je problematický, protože lidské aktivity rovnováhu v současnosti poněkud narušily.*
- *Jedním faktorem je chrlení velkého množství neaktivního uhlíku ve zplodinách ze spalování fosilních paliv po nástupu průmyslové revoluce, které snižuje koncentraci  $^{14}\text{C}$  (takto ovlivněné vzorky se pak mohou jevit jako starší)*
- *Druhým faktorem je produkce  $^{14}\text{C}$  při testech jaderných zbraní v padesátých a šedesátých letech, která jeho koncentraci zvýšila (takové kontaminované vzorky se jeví jako mladší).*
- *Nelze tedy vzít jakýkoli současný materiál, jako základní standard se zpravidla uvažují vzorky kyseliny oxalové připravené americkým National Bureau of Standards.*
- *Při dodaných výsledcích je třeba zkontrolovat, zda jde o syrová analytiická data, nebo už přepočtená podle dendrochronologie a některých dalších metod. A také zda stáří je uváděno jako BP (befor present, obvykle roky před 1950) nebo BC či AC (before/after Christ – roky běžného letopočtu)*

# Problémy radiouhlíkového určení stáří vzorku

1. Obtížná detekce
2. Proměnná rychlost vzniku
3. Destruktivnost metody
4. Možnost špatné historické interpretace
5. Nestejná frakcionace

Důsledek: nejistota a nepřesnost stanovení stáří vzorku

# ad 1) Obtížná detekce C14

- obtížná detekce obsahu  $^{14}\text{C}$  - jedná se o velmi nízké aktivity zářiče nízkou energií a tedy špatně měřitelným zářením.

Poměr výskytů izotopů C v atmosféře:

- 98,89% stabilní izotop  $^{12}\text{C}$
- 1.11% stabilní izotop  $^{13}\text{C}$
- 0.00000000010% radioaktivní izotop  $^{14}\text{C}$

Možnosti stanovení C14:

1. detekce emitovaných částic speciálními detektory částic s velmi nízkým pozadím, v nichž musí být radioaktivní uhlík převeden přímo do jejich citlivého objemu,
  2. přímé počítání jader  $^{14}\text{C}$  v hmotnostním spektrometru na bázi urychlovače nabitých částic.
- Obě varianty jsou náročné na přístrojové vybavení a tedy také nákladné

## Ad 2) Proměnná rychlost vzniku C14

- proměnná rychlost vzniku  $^{14}\text{C}$  v důsledku změn zemského magnetického pole (vlivem změn sluneční aktivity) a tím i změn rychlosti produkce neutronů v atmosféře jako sekundárních částic kosmického záření
- nutno korigovat např. podle dendrochronologické stupnice

## Ad 3) Destruktivnost metody

- Destruktivnost metody - uhlík je nutné ze zkoumaného vzorku chemicky separovat a tím se vzorek zničí.
- To omezuje možnosti aplikace metody na takové objekty, ze kterých lze nenávratně odebrat dostatečně velký vzorek.
- V zásadě postačuje několik gramů čistého uhlíku (v případě organické hmoty to nebývá problém, např. ale v kostech je org.hmoty málo a spotřebuje se jich dost)

## **Ad 4) Špatná historická interpretace**

- Omyl archeologa nebo historika ohledně vztahu datovaného předmětu k době, ze které pochází
- Metoda určuje vždy pouze dobu smrti příslušného biologického organismu, nikoliv např. dobu jeho používání nebo historickou vrstvu nálezů



## Ad 5) Nestejná frakcionace

- Nestejná izotopová frakcionace při přechodu jednotlivých izotopů uhlíku do některých biologických organismů
- **Izotopová frakcionace** - izotopické složení prvků majících více stabilních izotopů je konstantní. Poměr různých stabilních izotopů však může být narušen při některých fyzikálních procesech, při nichž hraje roli nestejná hmotnost atomů (např. při difúzi).

# Dendrochronologie

- **Dendrochronologické datování** je datování pomocí letokruhů stromů.
- Je založeno na myšlence, že v dané zeměpisné oblasti je sled širších letokruhů, odpovídajících teplým a vlhkým rokům, a užších letokruhů, odpovídajících sušším a chladnějším rokům, zcela charakteristický, protože je dán posloupností, v jaké za sebou takové roky následovaly.
- Na základě vzájemně na sebe navazujících vzorků dřeva z různých období lze tak sestavit stupnici sahající daleko do minulosti a s ní srovnávat sled letokruhů ve dřevě z nalezených objektů.

# Laboratorní metodika radiouhlíkového datování

Dvě části:

- **a) separace vzorku** z prostředí a odstranění všech komponent obsahujících uhlík, které nejsou reprezentativní pro datovaný objekt a příprava měřicího media
- Organické uhlíkaté vzorky po nálezech v půdě bývají znečistěny jemnými kořínky, huminovými kyselinami, příp. uhličitanovými zbytky hornin, které musí být odstraněny vhodnou kombinací mechanických a chemických operací.
- Po těchto úpravách se vzorky většinou spalují v proudu kyslíku na oxid uhličitý, který sám může být plnicím médiem, nebo je výchozí látkou pro syntésu kapalného media, nejčastěji benzenu.
- Syntésu benzenu z  $\text{CO}_2$  v laboratorních podmínkách představují tři na sebe navazující reakce, jejichž produkty jsou  $\text{Li}_2\text{C}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$  a výsledný  $\text{C}_6\text{H}_6$
- **b) změření beta - aktivity  $^{14}\text{C}$**  a výpočet stáří

# Měření $\beta$ -aktivity vzorku

- Beta - aktivitu  $^{14}\text{C}$  lze principiálně měřit několika způsoby, z nichž každý má své přednosti i nedostatky. Vzhledem k tomu, že jde o měření extrémně nízkých aktivit, přístroje konstruované pro tyto účely se musí vyznačovat vysokou citlivostí a nízkým pozadím.

Podle principu je lze rozdělit:

- a) plynové proporcionální detektory plněné plynným médiem, nejčastěji  $\text{CO}_2$  nebo  $\text{CH}_4$
- b) kapalinové scintilační spektrometry, měřené vzorky jsou v kapalně fázi s přídavkem scintilátoru
- c) hmotnostní spektrometry s urychlovačem (AMS - accelerated mass spectrometer)

- Vzorky jsou ve formě elementárního uhlíku na kovovém disku.
- Pro všechny metody měření beta - aktivity je společné, že s měřeným vzorkem se za stejných podmínek měří aktivita standardního vzorku uhlíku a pro zjištění pozadí přístroje též neaktivní vzorek uhlíku, tzv. pozadí.
- Výpočet stáří je odvozen z rozpadového zákona s využitím všech naměřených hodnot a poté upraven podle dendrochronologie