

Použití radionuklidů při určování stáří předmětů

Petr Šimek

MVT BAK KOM

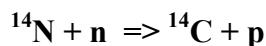
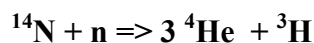
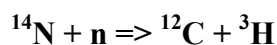
Pro určování stáří předmětů byly vyvinuty různé metody. Jedna z neznámějších je radiouhlíková metoda ^{14}C použitelná pro určování stáří organických materiálů z blízké minulosti. Pro určování stáří předmětů ze vzdálenější minulosti existují i jiné techniky, např argon-draslík, uran-thorium-olovo.

Radiouhlíková metoda ^{14}C

V roce 1947 objevil chemik Dr. Willard Libby spolu se svým výzkumným týmem na Chicagské univerzitě metodu určování stáří organických předmětů. Metoda je založena na zjištění vzájemného poměru množství radionuklidu uhlíku ^{14}C vůči množství stabilních izotopů uhlíku ^{13}C a ^{12}C . Totu metodou lze určit stáří nalezených pozůstatků rostlin a živočichů.

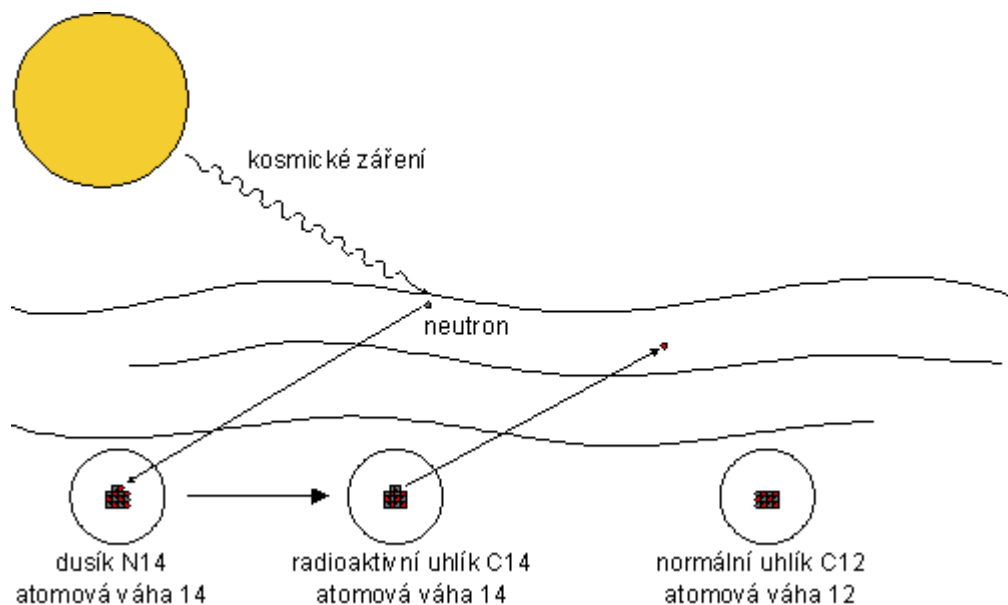
Vznik ^{14}C

Radioaktivní uhlík ^{14}C vzniká v zemské atmosféře. Kosmické záření z hvězd a od slunce, tvořené převážně vysokoenergetickými protony, dopadá do atmosféry a má dostatečnou energii aby při kolizi s jádry atomů atmosférických prvků dokázalo z těchto jader 'vyrazit' neutron. Tyto takzvané sekundární neutrony pak dále kolidují s dalšími prvky. Dochází ke vzniku dalších jaderných reakcí :



z nichž nejvýznamnější (nejčetnější) je poslední uvedený typ reakce, kdy jádro dusíku ^{14}N zachytí volný neutron a zároveň přijde o jeden proton. Tím se z něj stane radioizotop uhlíku ^{14}C . Tento izotop rychle oxiduje s kyslíkem na oxid uhličitý $^{14}\text{CO}_2$ který se chemicky neliší od běžného CO_2 ($^{12}\text{CO}_2$) a zúčastňuje se dále fotosyntézy.

Rostliny které při fotosyntéze rozkládají kysličník uhličitý CO_2 na uhlík a kyslík a uhlík používají ke stavbě svých tkání, spotřebovávají všechny tři typy izotopů uhlíku ($^{12}\text{CO}_2$, $^{13}\text{CO}_2$, $^{14}\text{CO}_2$) ve stejném poměru koncentrací v jakém jsou obsaženy v zemské atmosféře.



Obrázek 1 : vznik ^{14}C

Rostliny pak slouží jako potrava pro zvířata, takže jejich tkáň obsahují stejný poměr koncentrací těchto izotopů uhlíku. Po zániku těchto živých organismů dochází k postupné přeměně ^{14}C na ^{12}C rozpadem radioizotopu ^{14}C .

Poločas rozpadu ^{14}C

Poločas rozpadu $T_{1/2}$ je doba za kterou dojde k rozpadu poloviny jader nějakého nestabilního radioizotopu proti jeho původnímu množství v čase t_0 . Tento radioizotop se může rozpadat na stabilní prvky nebo jiné radioizotopy.

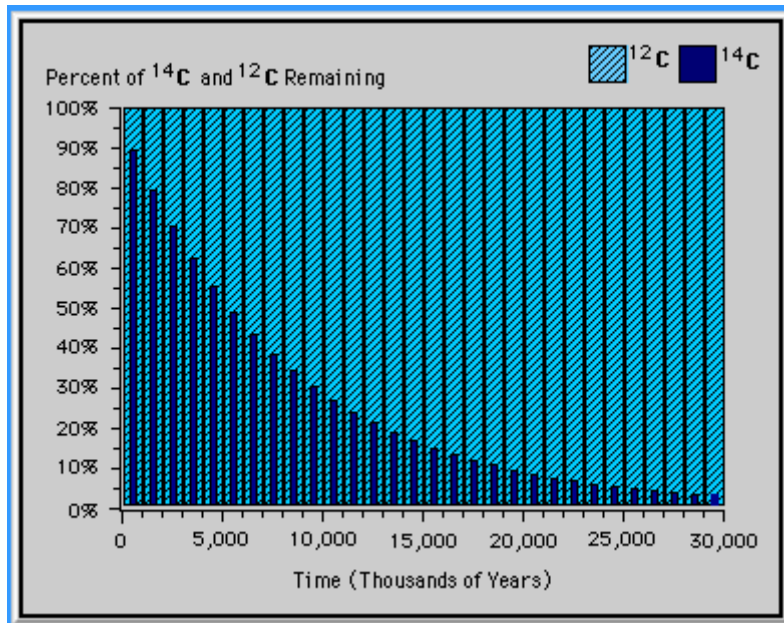
V případě uhlíku ^{14}C je předpokládaná doba $T_{1/2}$ 5730 let \pm 30let (v jiných pramenech se uvádí doba $T_{1/2}$ 5568let \pm 30let). To znamená, že po zániku organismu (rostliny nebo živočicha) je v jeho tkáni určitý poměr koncentrací ^{12}C , ^{13}C a ^{14}C , který je dán stavem atmosféry v době kdy tento organismus žil.

Za přibližně 5730 let poklesne koncentrace ^{14}C na polovinu, za dalších 5730 let zase na polovinu - tedy na čtvrtinu původní koncentrace při zániku organismu. Tak to pokračuje stále dál, až se koncentrace stane zcela zanedbatelnou, podle vztahu :

$$A = 0.255 e^{(-\lambda t)}$$

A je poměr koncentrací ^{14}C ku ^{12}C a ^{13}C , λ je přeměnová konstanta, t je hledané stáří

Z toho plyne základní omezení této metody - je vhodná pro datování stáří organických tkání maximálně 20 až 25 tisíc let starých, protože u starších tkání je koncentrace ^{14}C zanedbatelná a překrývají ji chyby měření.



Obrázek 2 : poločas rozpadu ^{14}C

Koncentrace ^{14}C

Podíl koncentrací izotopů uhlíku v atmosféře je zhruba následující :

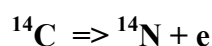
98,89%	izotop ^{12}C
1.11%	izotop ^{13}C
0.00000000010%	izotop ^{14}C

to znamená že množství radionuklidu ^{14}C v organismu je velmi malé, na každých 1,000,000,000,000 atomů uhlíku ^{12}C připadá 14 atomů radioizotopu ^{14}C . Tato koncentrace pak klesá vždy na polovinu po uplynutí časového intervalu $T_{1/2}$.

Pro určování koncentrace ^{14}C v organismu jsou zapotřebí velmi přesné měřicí metody.

Určování koncentrace ^{14}C a jeho zánik

Radioizotop uhlíku ^{14}C zaniká , uvolňuje beta částici a mění se zpět na dusík ^{14}N :



energie uvolňovaného beta záření je zhruba 160keV. Je přímo úměra mezi množstvím zanikajících atomů ^{14}C a množstvím emitovaných beta částic z materiálu.

Nevýhodou metody ^{14}C je zničení měřeného vzorku. Postupem času se ale vyvinuly techniky které pro měření koncentrace ^{14}C vyžadují jen několik gramů látky.

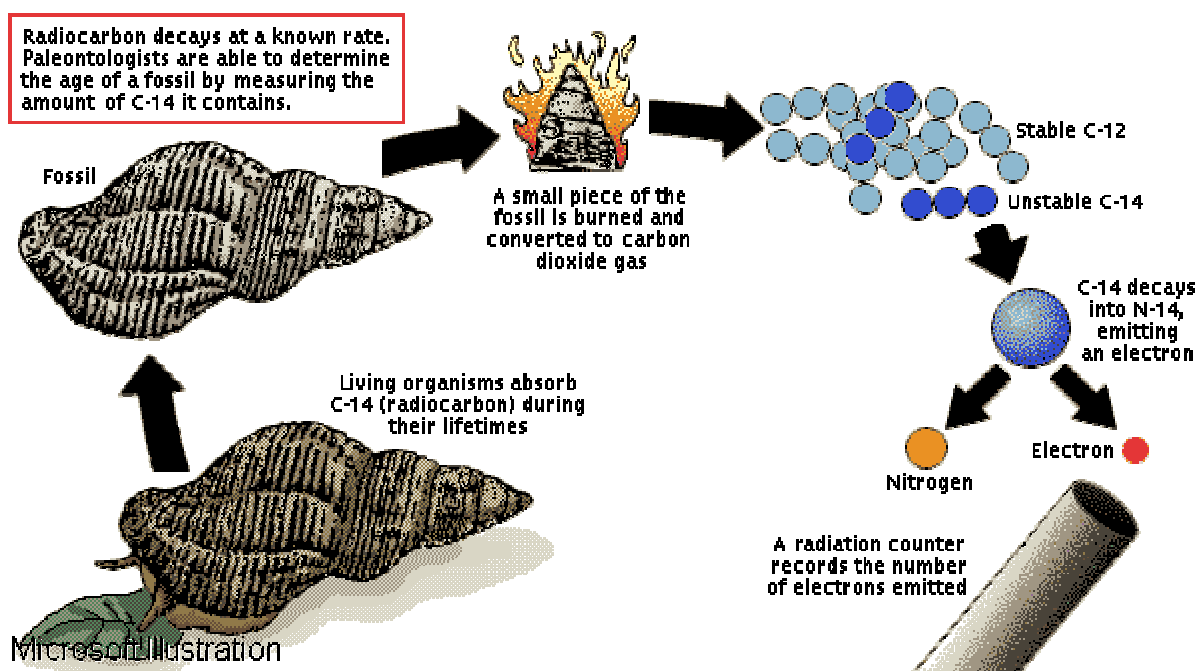
Základní princip metody pro určení koncentrací je v tom, že ze vzorku je chemicky extrahován pouze uhlík v něm obsažený, nebo je v peci vzorek konvertován na saze a dále přečistěn aby zbyl pouze uhlík obsažený ve vzorku. Tím získáme celkové množství uhlíku ve vzorku. Beta aktivita kterou tento vzorek vykazuje pak napovídá o koncentraci ^{14}C v tomto vzorku.

Tato radioaktivita se měří plynovými počítači. Vzorek se přímo umístí do prostoru plynového počítače aby citlivost na beta záření byla co nejvyšší. Nicméně vyvstává problém s citlivostí měření. Bežná radioaktivita pozadí je cca 500 pulsů za minutu zatímco radioaktivita vzorku se pohybuje v rozmezí 6 až 7 pulsů za minutu - aktivita pozadí stonásobně převyšuje aktivitu vzorku. Problém se částečně řeší tím, že se měřicí aparatura umísťuje do stínícího boxu z několik palců tlustých železných plechů - tloušťka stěn stíněné komory se pohybuje okolo 20cm. Výhodným materiálem na tyto boxy je staré železo z vojenských nebo stavebních objektů ve kterém už 'vymřela' většina v něm obsažených radionuklidů. Tím se sníží aktivita pozadí na cca 120 pulsů za minutu.

Pořád je ale aktivita pozadí řádově vyšší než aktivita vzorku. Proto se základní aparatura se vzorkem a měřicím geigerovým čítačem obklopí kruhem pomocných geigerových čítačů. Elektronicky se pak blokuje měřicí čítač vzorku na cca 0,01 sekundy vždy když nějaký vnější čítač zaznamená impuls.

Takto vytvořený antikoincidenční systém dokáže minimalizovat aktivitu pozadí (měřená aktivita na měřicím čítači bez přítomnosti vzorku) na cca 5 pulsů za minutu.

Od padesátých let, kdy byla metoda ^{14}C uvedena v praxi byly vynalezeny další detekční techniky (kapalné scintilační systémy) které dále zlepšily citlivost a tím také přesnost metody ^{14}C .



Obrázek 3 : určování koncentrace ^{14}C ve vzorku

Možnosti metody ^{14}C

Pomocí metody ^{14}C lze určovat stáří nejrůznějších organických látek, například:

- dřevěné uhlí, dřevo, větve, semena
- kosti
- ulity mořských a sladkovodních živočichů
- kůže
- rašelina
- zkameněliny
- jezerní nánosy a sedimenty
- půdy
- ledovců
- pylů
- vlasů
- keramiky
- železných odlitků
- nástěnných maleb a jeskynních kreseb
- ptačích vajec
- korálů
- textilie
- papír
- schránky ryb
- pozůstatky hmyzu
- pryskyřic
- paroží

Problémy a pochybnosti při užití metody ^{14}C

Použití metody ^{14}C má také svoje úskalí. Metoda je založena na poměru koncentrací ^{14}C ku ^{12}C v atmosféře a předpokládá tento poměr dlouhodobě stabilní. Tuto stabilitu ovšem narušují různé jevy.

Významným vlivem je průmyslová revoluce. V devatenáctém století začala éra fosilních paliv a o té doby lidstvo spaluje rostoucím tempem uhlí, plyn, ropu a tím zvyšuje koncentraci CO_2 v atmosféře. Ovšem pouze koncentraci 'mrtvého' uhlíku ^{12}C . Tím se mění poměr koncentrací $^{14}\text{CO}_2$ ku $^{12}\text{CO}_2$ (a $^{13}\text{CO}_2$).

Paradoxně to vede k tomu, že ostatky organismu, který uhynul ve dvacátém století budou vykazovat menší poměr ^{14}C ku ^{12}C než ostatky organismu který uhynul ve století osmnáctém a tedy se budou prostým srovnáním jevit starší.

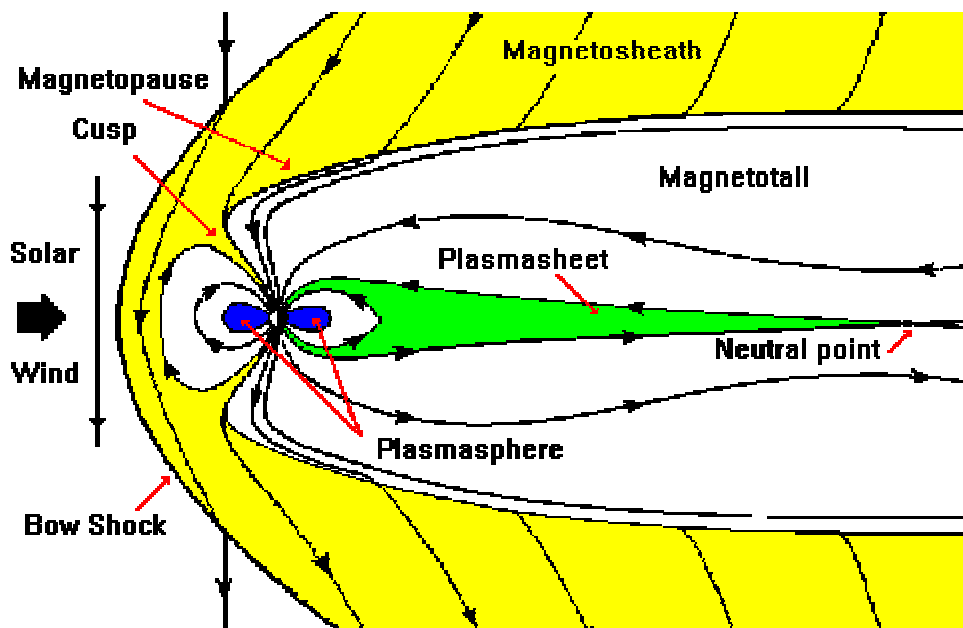
Tento vliv fosilních paliv a činnosti člověka je nutné při určování stáří brát v úvahu a při porovnávání používat spíše kalibrační vzorky než přímé srovnání se současnými

vzorky. Např. jako základní standard se zpravidla uvažují vzorky kyseliny oxalové připravené americkým National Bureau of Standards.

Dalším problémem může nastat v tom, když metoda předpokládá, že rychlost generování uhlíku ^{14}C v atmosféře je konstantní. To znamená že na zemi musí dopadat kosmické záření neměnné intenzity, aby poměr koncentrace ^{14}C ku ostatním izotopům uhlíku zůstal nezměněn. (koncentrace se ustálí když generované množství za jednotku času odpovídá počtu rozpadů za stejnou jednotku času).

Nicméně na dopad kosmického záření má významný vliv zemské magnetické pole a jím generovaná magnetosféra, která vytváří kolem země jakýsi stínící ochranný obal zabraňující vnikání kosmického záření do atmosféry.

Změny v intenzitě mag. pole země tedy mohou výrazně ovlivnit tvorbu radionuklidu uhlíku ^{14}C a tím i jeho koncentraci v atmosféře. To následně ovlivňuje i přesnost této metody.



Obrázek 4 : vliv magnetosféry na kosmické ionizující záření

Nezanedatelnou úlohu hrají i zkoušky jaderných zbraní při kterých dochází ke kontaminaci atmosféry radioaktivními látkami, mezi jinými i uhlíku ^{14}C .

Metoda Draslík-Argon

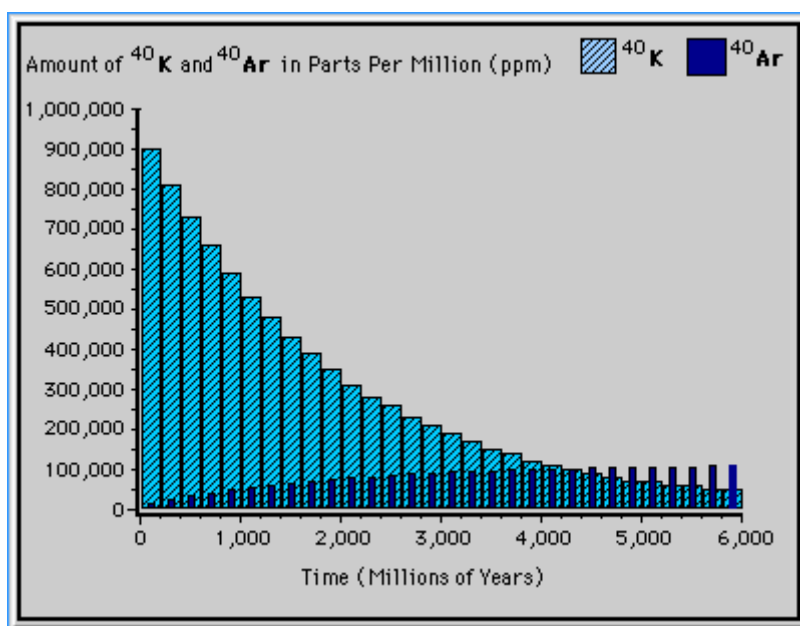
Tato metoda je vhodná pro určování stáří hornin a to až 4 miliardy let starých. Je založena na faktu že jeden z radioaktivních izotopů draslíku ^{40}K se rozpadá na plyn argon ^{40}Ar . Srovnáním koncentrací těchto prvků ve vzorcích vulkanických vyvřelin a na základě znalosti poločasu rozpadu $T_{1/2}$ draslíku ^{40}K je možné určovat dobu, kdy se tyto skály formovaly.

Vznik ^{40}K

Draslík je jeden ze základních prvků z kterých se skládá zemská kůra, je v ní zastoupen 2,4% objemu. Jeden ze sta draslíkových atomů je radioaktivní ^{40}K , má 19 protonů a 21 neutronů ve svém jádře. Tento radioaktivní atom ^{40}K se dále přeměňuje dvěma způsoby - záchytem betačástice β^- na ^{40}Ca nebo elektronovým záchytem na argon ^{40}Ar . Argon je inertní plyn. Na každých 100 rozpadů atomů draslíku ^{40}K připadá vznik 11cti atomů ^{40}Ar .

Poločas rozpadu ^{40}K

Poločas rozpadu radioaktivního izotopu draslíku ^{40}K je 1.300.000.000 let. Za tuto dobu se cca polovina toho izotopu rozpadne, zhruba 11% z této poloviny na Argon ^{40}Ar .



Obrázek 5 : poločas rozpadu ^{40}K

Princip metody Draslík-Argon

Draslík ^{40}K se neustále rozpadá na argon. Dokud je skála taveninou, tento inertní plyn jí prochází (probublává) a dostává se do atmosféry. V okamžiku kdy skála ztuhne, je další pohyb argonu znemožněn a plyn který dále vzniká rozpadem draslíku ^{40}K je uvězněn v hornině. Zjištěním poměru koncentrací těchto prvků ve vzorku skály lze přibližně určit datum jejího zformování (ztuhnutí).

Určování koncentrací ^{40}K a ^{40}Ar

Vzorek skály se nejprve povrchově čistí aby se zbavil vzdušného (atmosférického) argonu. Pak se umístí do komory kde se zahřeje na vysokou teplotu a pomocí hmotového spektrometru se měří množství unikajícího argonu ^{40}Ar a množství draslíku ^{40}K .

Použití metody Draslík-Argon

Tato metoda se hodí pro určování stáří vyvřelin. Nedává informaci o horninách ve stavu taveniny před tím než ztuhly a krystalizovaly zato je s ní možné měřit velmi dlouhé časové úseky. Její rozlišovací schopnost je také nízká okolo jednoho milionu let.

Hlavním zdrojem chyb při použití této metody je možnost úniku argonu ^{40}Ar z nerostu. Některé materiály udrží až 99% vzniklého argonu (např. slída) jiné podstatně méně (např. živce 60-80%).

Seznam literatury :

[1] Musílek, L.: Využití ionizujícího záření ve výzkumu, ČVUT, Praha 1992

[2] Internet, zejména adresy :

<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Station/8985/rad.htm>

<http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/iz/>

<http://www.c14dating.com/int.html>

<http://www.varchive.org/ce/c14.htm>

http://id-archserve.ucsb.edu/Anth3/Courseware/Chronology/01_Contents.html