

The background is a dark purple gradient. On the left, several 3D cubes of varying sizes are scattered, some connected by thin white lines. On the right, a complex network of white dots connected by thin lines forms a web-like pattern. The overall aesthetic is modern and scientific.

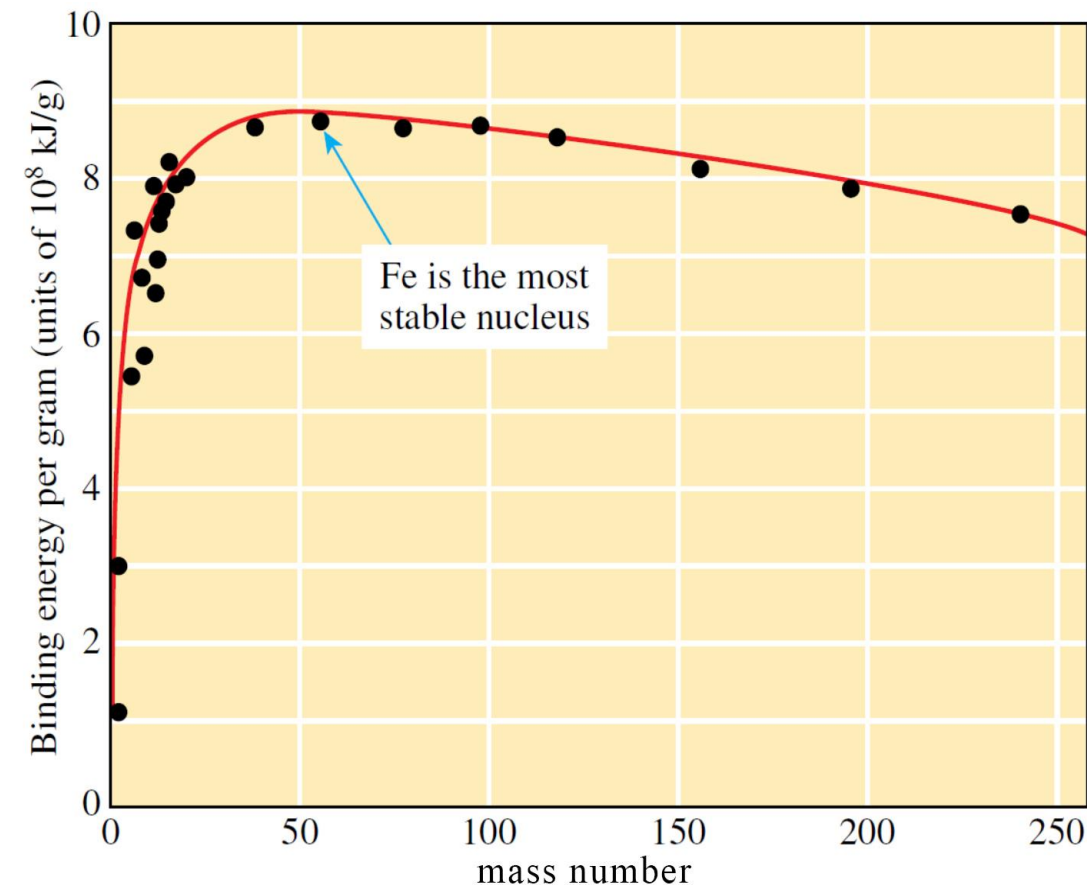
Rádionuklidy

(doplňujúce informácie a zaujímavosti)

Zaujímavosti

- Bolo experimentálne zistené, že jadro atómu všetkých prvkov má približne rovnakú hustotu, a to $2.4 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$. V rámci jadra sú pozitívne nabité protóny “umiestnené” veľmi nahusto.
- Hmotnosť každého atómu okrem ^1_1H je vždy nižšia, ako súčet hmotností častíc ktoré ho tvoria. Tento rozdiel v hmotnosti zodpovedá väzobnej energii (podľa vzťahu $E = mc^2$), vďaka ktorej sú protóny a neutróny “držané pokope” v rámci veľmi malého objemu.
- Nuklidy vyznačujúce sa určitým špecifickým počtom protónov a neutrónov sú mimoriadne stabilné. Platí to, ak je počet neutrónov alebo protónov alebo ich suma rovná 2, 8, 20, 28, 50, 82, alebo 126. V tejto súvislosti sa používa označenie “magické čísla”. Napr. v prípade ^4_2He , $^{16}_8\text{O}$, $^{42}_{20}\text{Ca}$, $^{88}_{38}\text{Sr}$, $^{208}_{82}\text{Pb}$.

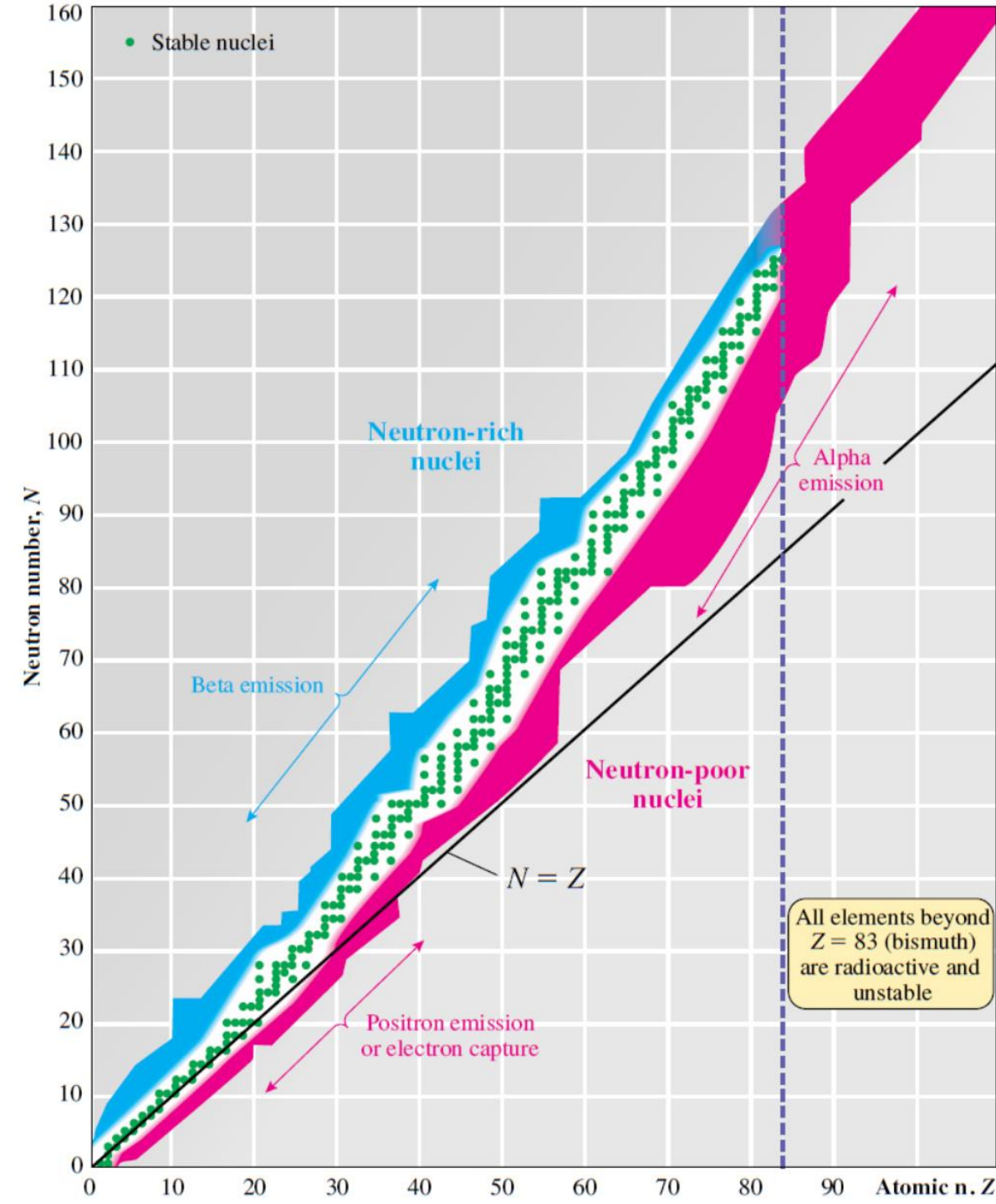
z grafu vyplýva, že jadrá atómov ľahších prvkov sú menej stabilné ako jadrá ťažších; stabilita jadra dosahuje maximum pri Fe, pričom u ťažších prvkov má mierne klesajúci trend



(ne)Stabilita jadra

Znázornenie počtu neutrónov (N) a počtu protónov (Z) v jadrách nuklidov. Stabilné jadrá (**zelená**) vymedzujú v grafe “**oblasť stability**”. Ostatné jadrá znázornené bielou, ružovou a modrou sú nestabilné – rádioaktívne. S narastajúcou hmotnosťou nuklidov sa zvyšuje pomer N/Z . Jadrá, znázornené nad pásmom stability, sú pomerne bohaté na neutróny (**modrá**) a tie, ktoré sa nachádzajú pod pásmom stability, sú chudobnejšie na neutróny (**ružová**). Rozpad jadier prebieha za uvoľnenia alfa, beta, pozitronového žiarenia, alebo v dôsledku záchytu elektrónov (jadrom). U ľahších jadier, chudobných na neutróny, zvyčajne pri rozpade dôjde buď k emisii pozitronového žiarenia alebo k záchytu elektrónov. Ťažšie jadrá, chudobné na neutróny, zvyčajne podliehajú alfa emisii. Rozpad jadier bohatých na neutróny prebieha beta emisiou, pričom dochádza k transformácii neutrónu na protón. V prípade jadier s protónovým číslom nad 83 (Bi) prebieha ich rozpad dominantne prostredníctvom alfa emisie.

<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>



Rádioaktívne (ionizujúce) žiarenie

TABLE 26-3

Common Types of Radioactive Emissions

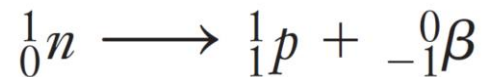
Type and Symbol ^a	Identity	Mass (amu)	Charge	Velocity	Penetration
beta (β^- , ${}_{-1}^0\beta$, ${}_{-1}^0e$)	electron	0.00055	1−	$\leq 90\%$ speed of light	low to moderate, depending on energy
positron ^b (${}_{+1}^0\beta$, ${}_{+1}^0e$)	positively charged electron	0.00055	1+	$\leq 90\%$ speed of light	low to moderate, depending on energy
alpha (α , ${}^4_2\alpha$, ${}^4_2\text{He}$)	helium nucleus	4.0026	2+	$\leq 10\%$ speed of light	low
proton (${}^1_1p$, ${}^1_1\text{H}$)	proton, hydrogen nucleus	1.0073	1+	$\leq 10\%$ speed of light	low to moderate, depending on energy
neutron (${}^1_0n$)	neutron	1.0087	0	$\leq 10\%$ speed of light	very high
gamma (${}^0_0\gamma$) ray	high-energy electromagnetic radiation such as X-rays	0	0	speed of light	high

^aThe number at the upper left of the symbol is the number of nucleons, and the number at the lower left is the number of positive charges.

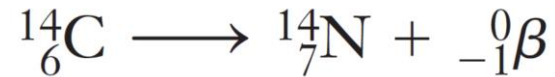
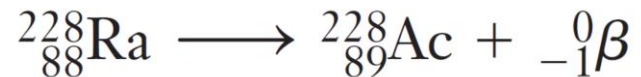
^bOn the average, a positron exists for about a nanosecond (1×10^{-9} second) before colliding with an electron and being converted into the corresponding amount of energy.

Jadrové reakcie

- formálny zápis – ľavá vs. pravá strana rovnice:
súčet nukleónových čísel reaktantov a produktov musí byť zhodný.
súčet protónových čísel reaktantov a produktov musí byť zhodný.
- Pre jadrá **bohatšie na neutróny** najčastejšie riešia svoju nestabilitu emisiou **beta** žiarenia. Tá spočíva v zmene neutrónu na protón a uvoľnení elektrónu

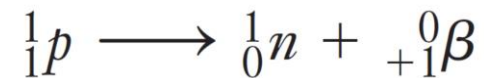


- Tým pádom beta emisia spôsobí u daného jadra nárast protónového čísla za súčasného zníženia počtu neutrónov, avšak pri zachovaní hmotnosti jadra. Príklady beta emisie:

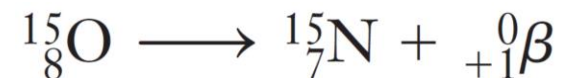
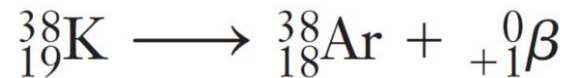


Jadrové reakcie

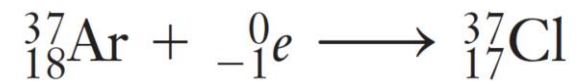
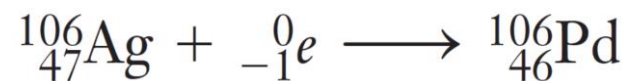
- V prípade nuklidov **chudobnejších na neutróny** prichádzajú do úvahy dva typy reakcií, a to emisia pozitrónu alebo zachytenie elektrónu.



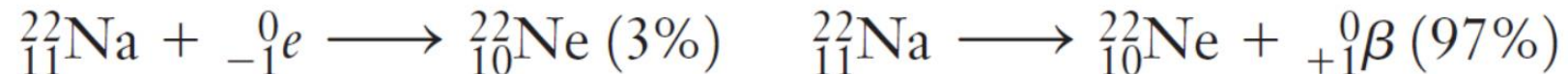
- Uvoľnenie pozitronového žiarenia je bežné pre umelé rádionuklidy s ľahšou hmotnosťou, zatiaľ čo zachytenie elektrónu je charakteristickejšie pre ťažšie. Pozitron má rovnakú hmotnosť ako elektrón avšak je pozitívne nabitý.
- Pozitrony sú emitované pri konverzii protónov na neutróny, čo vedie k poklesu protónového čísla a nárastu počtu neutrónov pri zachovaní hmotnosti jadra. Napr.:



- Rovnaký následok má aj zachytenie elektrónu jadrom z K vrstvy elektrónového obalu.

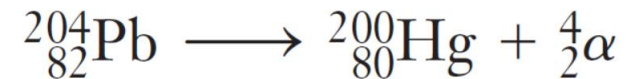


- U niektorých nuklidov môže dochádzať k obom scenárom, k zachyteniu elektrónu aj emisii pozitrónu.



Jadrové reakcie

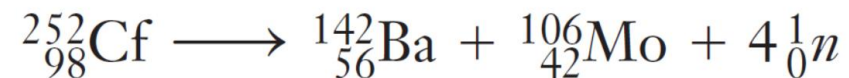
- V prípade jadier z **nižším zastúpením neutrónov**, ktoré majú zároveň **väčšiu hmotnosť**, dochádza k emisii alfa častíc.
- Alfa častica je jadro hélia pozostávajúce s dvoch protónov a dvoch neutrónov, z čoho vyplýva, že bude mať kladný náboj (to sa však v jadrových reakciách neznázorňuje). Emisia alfa častíc má za následok modifikáciu hodnoty pomeru neutrón/protón v jadre.



- Všetky jadrá s protónovým číslom > 83 sú mimo pásma stability, čo znamená, že sú všetky rádioaktívne. Väčšina z nich pri premene jadra emituje alfa žiarenie.



- Jadrá niektorých izotopov U a prvkov s väčšou atómovou hmotnosťou (transurány) sa môžu štiepiť za vzniku nuklidov s výrazne nižšou hmotnosťou, za súčasnej emisie neutrónového žiarenia.



Rýchlosť rozpadu (premeny) a polčas

- Rádionuklidy majú rôznu stabilitu a premieňajú sa rôznou rýchlosťou. Kým niektoré sa premenia na dcérske produkty za < 1 s, iným to trvá milióny rokov. Rýchlosť rádioaktívnej premeny je nezávislá na teplote a z pohľadu chemickej kinetiky sa pri nej uplatňuje tzv. rád reakcií prvého poriadku. Pri tomto type reakcií je rýchlosť závislá od koncentrácie reagujúcej látky čo vyjadruje rovnica:

$$\ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = akt \quad k[A] = \text{rýchlostná konštanta}$$

- Kde A je množstvo rádionuklidu po uplynutí času t a A_0 reprezentuje množstvo daného rádionuklidu na začiatku. Člen k vyjadruje rýchlostnú konštantu, ktorej hodnota je špecifická pre konkrétny rádionuklid. Jadro každého atómu sa rozpadá nezávisle na ostatných, takže stochiometrický koeficient (a) je vždy rovný jednej pri rádioaktívnom rozpade. Tým pádom ho môžeme z rovnice vynechať, čím dostaneme:

$$\ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = kt$$

- A_0 a A môžu reprezentovať, aktivitu (Bq), koncentrácie, ale aj hmotnosti nuklidu. Rovnicu môžeme napísať aj tak, že namiesto pomeru množstiev reaktantu, bude pomer vyjadrovať počet dezintegrácií (N).

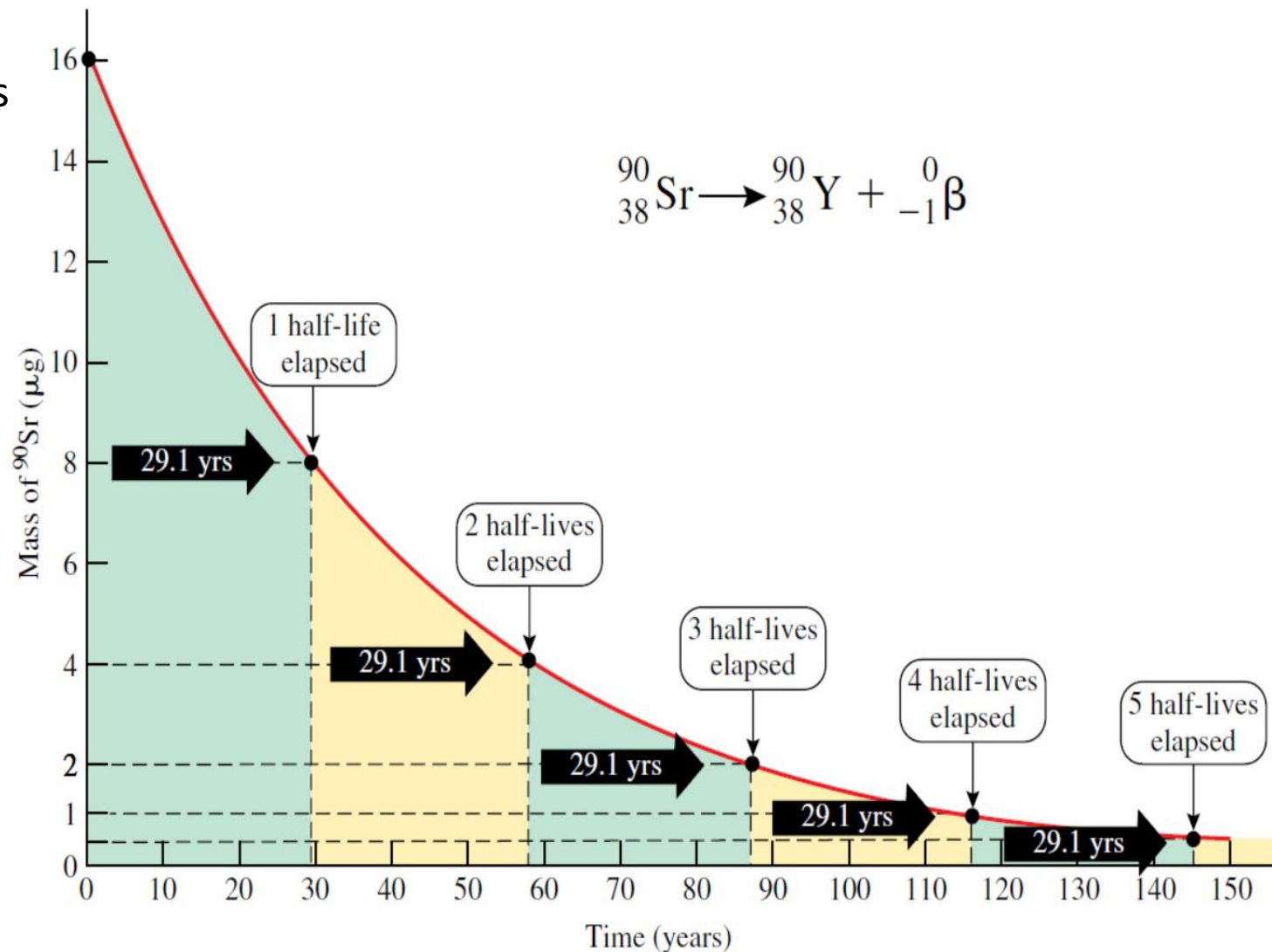
$$\ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = kt$$

Rýchlosť rozpadu (premeny) a polčas

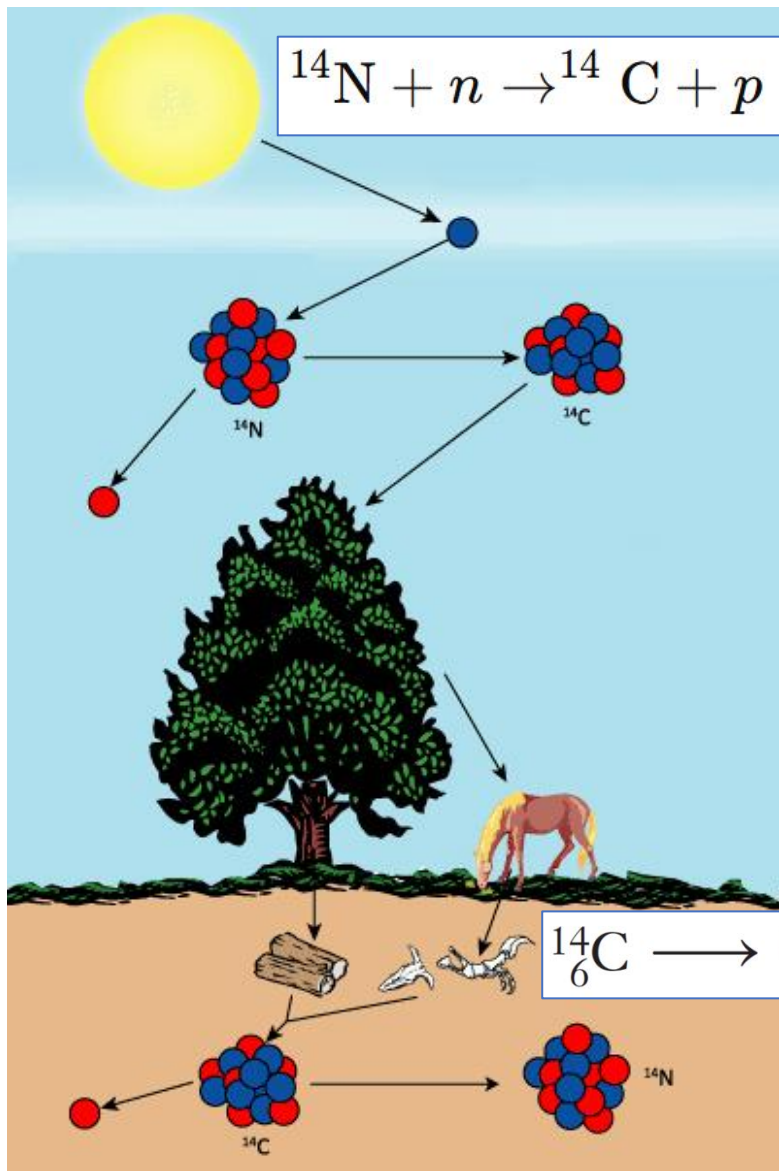
- Štandardným ukazovateľom rýchlosti rádioaktívnej transformácie je polčas. Je to čas po uplynutí ktorého sa hmotnosť rádionuklidu zníži na polovicu v porovnaní s jeho počiatočným množstvom. Je daný vzťahom:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{k}$$

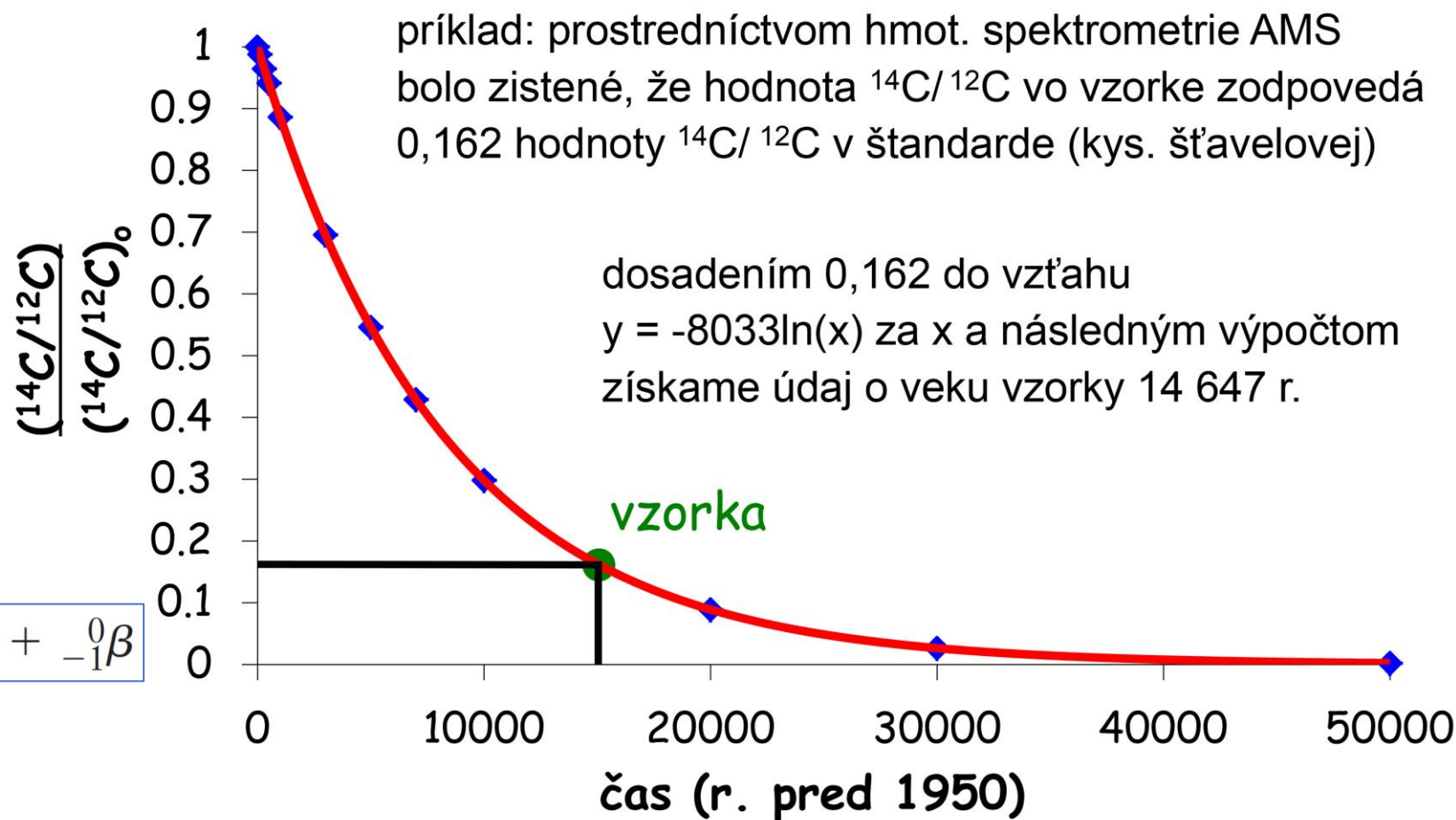
- Napr. izotop ^{90}Sr bol do atmosféry uvoľnený v dôsledku testovania jadrových zbraní. Nakoľko po chemickej stránke existuje podobnosť medzi Sr a Ca, v súčasnosti nachádzame Sr v merateľných množstvách v rôznych biologických materiáloch, tkanivách, pletivách alebo tekutinách, ako sú mlieko, kosti, zuby, potraviny alebo vodné zdroje. Rozpad ^{90}Sr produkuje beta žiarenie, pričom polčas premeny je približne 29 rokov. Pokiaľ ide o vplyv ^{90}Sr na ľudské zdravie, môže prispieť k vzniku leukémie, alebo rakoviny kostnej drene.



Premena vybraných rádionuklidov (reakcie prvého poriadku, ^{14}C datovanie)



princíp metódy určovania veku fosílnych C materiálov: stanovený vek zodpovedá času od kedy prestala prebiehať látková výmena medzi materiálom vzorky a atmosférou.



Premena vybraných rádionuklidov (reakcie prvého poriadku, datovanie U rudy)

- Zistilo sa, že vzorka uránovej rudy obsahuje 4,64 mg ^{238}U a 1,22 mg ^{206}Pb . Odhadnite vek rudy. Polčas rozpadu ^{238}U je $4,51 \times 10^9$ rokov.
- Pôvodná hmotnosť ^{238}U sa rovná hmotnosti zostatkového ^{238}U vo vzorke plus hmotnosť ^{238}U , ktorá sa premenila na ^{206}Pb . Rýchlostnú konštantu k získame z hodnoty polčasu rozpadu ^{238}U . Pri výpočte času vychádzame z pomeru pôvodného množstva ^{238}U a zostatkového ^{238}U .

1. Najprv vypočítame množstvo ^{238}U , ktoré sa muselo rozpadnúť, aby vzniklo 1,22 mg ^{206}Pb .

$$x \text{ mg } ^{238}\text{U} = 1.22 \text{ mg } ^{206}\text{Pb} \times \frac{238 \text{ mg } ^{238}\text{U}}{206 \text{ mg } ^{206}\text{Pb}} = 1.41 \text{ mg } ^{238}\text{U}$$

2. Vzorka teda pôvodne obsahovala $4,64 \text{ mg} + 1,41 \text{ mg} = 6,05 \text{ mg } ^{238}\text{U}$. Následne počítame rýchlostnú konštantu, pomocou vzťahu pre polčas.

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k} \quad \longrightarrow \quad k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{4.51 \times 10^9 \text{ y}} = 1.54 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$$

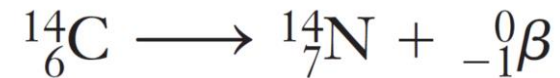
3. keď máme konštantu k a pomer pôvodného a zostatkového ^{238}U , môžeme vypočítať čas $\rightarrow$ zistíme, že vek U rudy je cca 1,7 miliardy rokov.

$$\ln \left(\frac{A_0}{A} \right) = kt$$
$$\ln \left(\frac{6.05 \text{ mg}}{4.64 \text{ mg}} \right) = (1.54 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1})t$$
$$\ln 1.30 = (1.54 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1})t$$

$$\frac{0.262}{1.54 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}} = t \quad \longrightarrow \quad t = 1.70 \times 10^9$$

Premena vybraných rádionuklidov (datovanie)

- Opísané dva príklady datovania sú odlišné
- V prípade ^{14}C metódy je princíp stanovenia založený iba na jednej reakcii, ktorá má polčas 5730 rokov



- Pri datovaní uránovej rudy sme koncepciu značne zjednodušili. ^{238}U sa totiž premieňa na ^{206}Pb cez niekoľko medzi produktov, ktoré sú súčasťou tzv. uránového rozpadového radu.
- Polčasy premeny jednotlivých rádionuklidov sú však natoľko nízke (v porovnaní s $4,51 \times 10^9$), že ich môžeme zanedbať; najväčšie skreslenie bude spôsobené zanedbaním premeny $^{234}_{92}\text{U} \rightarrow ^{230}_{90}\text{Th}$ s polčasom $2,47 \times 10^5$ rokov. Aj to však je pomerne akceptovateľná chyba pokiaľ ide o miliardy rokov. Číže, korektnejšie je vnímať vypočítanú hodnotu 1,7 miliardy rokov ako mierne podhodnotenú vzhľadom na “skutočný vek” rudy.

