

ZÁKON RADIOAKTIVNÍ PŘEMĚNY

(zásobník úloh a námětů do výuky)

Zásobník slouží jako zdroj příkladů a námětů pro učitele, tudíž zde nejsou metodicky rozpracované hodiny. Vyučující zde ale naleznou nápady, které mohou zakomponovat do výuky.

Zásobník je rozdělen na následující části:

- Zásobník úloh – základní úroveň
- Zásobník úloh – pokročilá úroveň
- Náměty do výuky

Zásobník úloh – základní úroveň

1. Ve své knize Periodické příběhy se autor Hugh Aldersey-Williams zaměřil ve svém vyprávění o plutoniu na příběh jeho objevu a využití tohoto prvku během čtyřicátých let dvacátého století. Izolaci plutonia uskutečnil v roce 1941 Glenn T. Seaborg s týmem jaderných fyziků. Seaborg si uvědomoval zajímavé fyzikální, chemické (značná jedovatost) i ekonomické vlastnosti tohoto prvku, doufal, že by jednou mohlo plutonium nahradit zlato v úloze měnového standardu.

Několik kilogramů tohoto prvku stačí na atomovou bombu a je v tomto ohledu mnohem účinnější než štěpitelné izotopy uranu. Werner Heisenberg a další němečtí vědci si již v roce 1941 uvědomovali, že prvek číslo 64 by mohl být mocnou jadernou výbušninou. Zdá se však, že Spojenci vážně neuvažovali o možnosti, že by nacisté mohli na plutoniu pracovat, zatímco Němcům zase nedošlo, že Spojenci ho již mají. Kdyby některá ze stran věděla o zájmu té druhé a vzala to při vojenském plánování v úvahu, mohla válka nabrat zcela jiný směr.

Plutonium je prvek, který jen málokdo někdy viděl, rychle se však přesunulo do démonického prostoru tradičně vyhrazeného pro síru. Zpočátku to bylo kvůli jeho využití v jaderné bombě, později začalo veřejnosti docházet, jak obtížné je se tohoto prvku zbavit. Poločas radioaktivního rozpadu izotopu, jenž je hlavní složkou plutoniového jaderného odpadu, činí 24 000 let, což dělá z jeho bezpečného uložení záležitost, která o řády překračuje normální inženýrské úvahy. Jakékoli úložiště tohoto typu by muselo s velkou rezervou vydržet déle než pyramidy a muselo by o svém smrtelném obsahu srozumitelně informovat i civilizace, které vystřídají tu naši.

ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh. *Periodické příběhy. Zvláštní životy prvků*. Praha: Dokořán, 2012, ISBN 978-80-7363-699-9.

- a) Pokud by plutonium nahradilo zlato jako standard, kolik bychom ztratili plutonia-239 za 24000 let?
- b) Kolik státního pokladu bychom ztratili za 100 let? Vyjádřete ztrátu v procentech.
- c) S pomocí aplikace určete, za jak dlouho klesne množství plutonia-239 na 1 % z původního množství.

Odpovědi: a) 50 %, b) 0,3 %, c) 144000 let

2. Nebezpečné banány?

Banány, stejně jako většina předmětů kolem nás, vydávají slabé radioaktivní záření. Jeden banán obsahuje 0,4 g draslíku. Ten pro změnu obsahuje 0,01 % radioaktivního izotopu draslíku ^{40}K . Ten se každou vteřinu rozpadá 12 radioaktivními rozpady.

- a) "Životnost" banánu v konzumovatelném stavu je asi 3 dny. Zjistěte, kolik radioaktivních částic se z banánu uvolnilo za tento čas.
- b) Zjistěte, o kolik % se změnil počet nerozpadlých jader ^{40}K v banánu.
- c) Kolik banánů bychom potřebovali, aby jejich aktivita ^{40}K byla 100 rozpadů za minutu?
- d) Smrtelná dávka radiace pro člověka je zhruba $4,2 \cdot 10^8$ rozpadů za sekundu. Kolika banánům to odpovídá?
- e) Co je to „Banana equivalent dose“?

Odpovědi: a) 3 100 000 částic b) 0%, c) 500 d) 35 000 000 e) dávkový ekvivalent banánu



3. Následující tabulka udává některá měření rychlosti rozpadu vzorku. Tento radionuklid se často používá v lékařství.

doba rozpadu (dny)	Procento nerozpadlých částic
3	77%
6	59%
9	46%
12	35%
15	27%

- a) Sestrojte tabulku závislosti N/N_0 na čase, sestrojte graf této závislosti a odhadněte poločas přeměny.

Čas ve dnech	Poměr N/N_0
0	
3	
6	
9	
12	
15	

- b) Určete poločas přeměny pomocí výpočtu z rozpadového zákona.

- c) S využitím aplikace určete typ radionuklidu.

Odpovědi: a)

Čas ve dnech	Poměr N/N_0
0	1
3	0,77
6	0,59
9	0,46
12	0,35
15	0,27

- b) $T = 8$ dní

- c) ^{131}I





4. V neolitu se na území podhůří Jizerských hor nacházelo významné naleziště amfibolového kontaktního rohovce, pro který se v archeologické terminologii používá také název metabazit typu Pojizeří. Tato surovina byla pro svoji extrémní pevnost a houževnatost používána pro výrobu různých kamenných nástrojů – seker, teslic, sekeromlatů, mlatů, bulav. Pozůstatky těžebních jam se nachází mezi Jabloncem nad Nisou a Tanvaldem. Kamenné industrie z tohoto metabazitu se pak nachází až ve vzdálenosti 300 km od místa těžby.

Z výplní těžebních jam nezískávají archeologové jenom kamenné odštěpky pocházející ze zpracování suroviny, ale také vzorky sedimentů. Z těch je možné získat po rozplavení na plavící lince zuhelnatělé dřevo či další pozůstatky rostlin. Díky měření obsahu radioaktivního izotopu uhlíku C_{14} je možné určit stáří, kdy datované dřevo odumřelo. Datování těžby do mladší doby kamenné bylo jednoznačně prokázáno již šesti kalibrovanými radiokarbonovými daty v časovém intervalu 1860 – 5316 př. n. l. Interval datování pokrývá celý starší neolit, celou dobu trvání kultury s lineární keramikou a starší fázi kultury s vypíchanou keramikou.

PROSTŘEDNÍK, Jan; ŠÍDA, Petr; DRNOVSKÝ, Václav. *Pravěká těžba v Jizerských horách. Příběh kamenných seker*. Turnov: Muzeum českého ráje v Turnově, 2011, ISBN 978-80-87416-06-8.

- a) K čemu sloužily sekery, teslice, sekeromlaty, mlaty a bulavy?

Název nástroje	Využití
Sekera	
Teslice	
Sekeromlat	
Mlat	
Bulava	

- b) S pomocí aplikace Zákon radioaktivní přeměny sestrojte graf závislosti množství nerozpadlých jader uhlíku ^{14}C na čase.
- c) S pomocí aplikace odhadněte množství uhlíku ^{14}C , které ve vzorku zůstane po uplynutí 7000 let. Výsledek určete v procentech.
- d) S pomocí rozpadového zákona toto množství spočítejte (v procentech) a oba výsledky porovnejte.

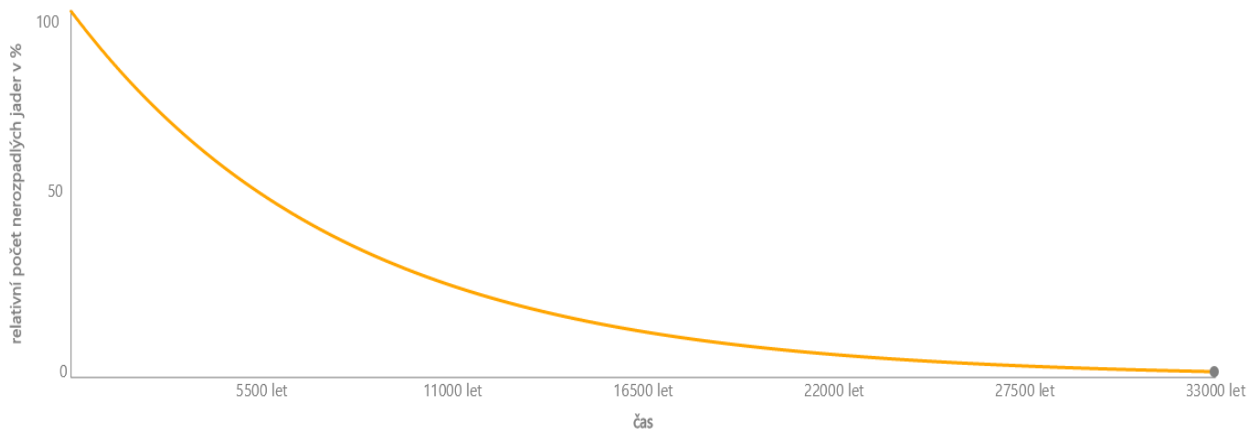
Odpovědi: a)

Název nástroje	Využití
Sekera	Štípání dřeva
Teslice	Sekera k opracování dřeva
Sekeromlat	Masivní pracovní nástroj, který sloužil i jako zbraň.
Mlat	Úderový nástroj
Bulava	Kamenný mlat (nástroj či zbraň působící tupým úderem) kulovitého tvaru





b)



c) 41 %

d) oba výsledky jsou stejné



Zásobník úloh – pokročilá úroveň

1. Nejrychleji se množící rostlina se jmenuje drobníčka (Wolffia), která dokáže své původního množství za týden zpadesátinásobnit.
 - a) Určete dobu zdvojení této rostliny, tj. dobu, za kterou počet rostlin zdvojí. Pro výpočet využijte vztah pro výpočet poločasu přeměny. Pro výpočet „přeměnové konstanty“ využijte upravený vztah $N = N_0 e^{\lambda t}$; N_0 je původní počet, N je počet rostlin v čase t . Jelikož počet rostlin roste, je exponent λt kladný.
 - b) Určete „aktivitu“ 1 milionu rostlinek, tj. ke kolika zdvojením dochází ve vzorku za jednu sekundu.
 - c) Vytvořte graf závislosti počtu rostlin na čase (0 až 7 dní), na počátku je pouze jedna rostlinka.
 - d) S pomocí aplikace vykreslete graf závislosti množství nerozpadlých jader na čase pro radionuklid se stejným poločasem přeměny. Tyto grafy porovnejte.
 - e) Nalezněte radionuklid s podobným poločasem přeměny jako čas zdvojení drobníčky.

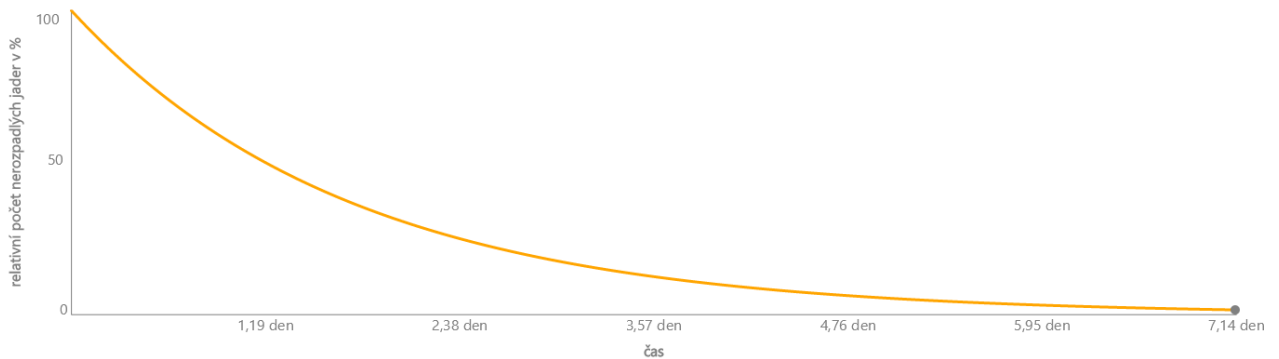
Odpovědi: a) 1,2 dne, b) 6,5 dělení za sekundu

c)





d)



e) erbium-160 (1,19 dne)

2. Radioaktivní prameny v Jáchymově

Voda pro radonové koupele, nejdůležitější léčebnou proceduru, se čerpá ze čtyř pramenů obsahujících kromě radonu minerály Ca, Fe, Zn, Mn, Li aj. Na dvanáctém patře dolu Svornost, pravděpodobně nejstaršího uranového dolu v Evropě (od roku 1518), v hloubce 500 m pod zemí, prameny radonové vody vyvěrají. Radon je vzácný přírodní plyn vznikající radioaktivní přeměnou těžkého kovu rádia, vyzařuje záření alfa a jeho rozpad pokračuje přes sedm dalších radionuklidů polonia, olova a vizmutu až ke stabilnímu izotopu olova. Ve vodě pramenů je rozpuštěn. Aktivita vody ve vaně je 5 000 Bq/l, což je, pokud jde o přírodní zdroj, nejvyšší v Evropě. Poločas rozpadu radonu jsou asi 4 dny.

- Objem vany je přibližně 400 litrů. Jaká je aktivita zářiče?
- Kolik částic alfa by tělo pacienta maximálně absorbovalo při době trvání koupele 20 minut?
- Kolik částic alfa by tělo pacienta maximálně absorbovalo při úplné kůře, která obsahuje 18 koupelí v průběhu 3 týdnů?
- Biologický rozpad radonu (pokles částic včetně vyloučení z těla) je asi 20 minut. O kolik procent klesne počet částic radonu v těle během 1 koupele? O kolik procent klesne počet částic radonu v těle po uplynutí 1 dne od začátku koupele?

Odpovědi: a) 2 MBq b) 2 400 Mbq c) 43 200 Mbq d) o 50 %, o 100 %

- ## 3. Pozitronová emisní tomografie (PET) představuje velmi dynamicky se rozvíjející diagnostickou zobrazovací metodu v celosvětovém kontextu klinické medicíny. Řadí se k nejmodernějším současným metodám molekulárního zobrazování, která poskytuje neinvazivní prostředek k diagnóze, studiu a monitorování lidského organismu. PET je založeno na indikátorovém principu, což znamená, že pacientovi je intravenózně podáno malé množství radiofarmaka, které je distribuováno v organismu, a to v závislosti na jeho biologických vlastnostech. Následně je detekováno záření z něj vycházející, speciální kamerou a počítačem jsou rekonstruovány řezy představující rozložení radioaktivity v těle pacienta. Velmi často se využívá radiofarmakum ^{18}F . Poločas přeměny naleznete v aplikaci.

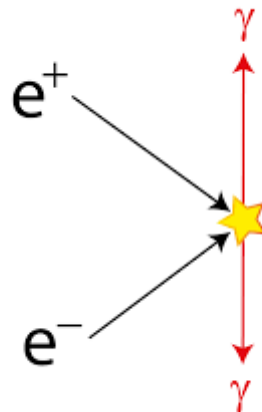
- Radionuklid fluoru podléhá β^+ přeměně. Jaký nuklid je výsledkem přeměny?
- Snímače při vyšetření snímají fotony γ záření. Na jakém principu vznikají?
- Na počátku vyšetření by neměla aktivita preparátu klesnout pod 240 MBq. Preparát byl podán 90 minut před vyšetřením. Jaká byla aktivita vzorku při podání preparátu?





Odpovědi: a) 180

b)



c) 420 MBq

Náměty do výuky

1. V medicíně se k diagnostickým a léčebným účelům používají radiofarmaka – léčiva obsahující radionuklidy vázané v molekulách nosné sloučeniny. Zde se využívají například nuklidy ^{61}Cu , ^{64}Cu , ^{68}Ga , ^{86}Y , ^{124}I , ^{230}U a další.

Mezi pracoviště, kde se radiofarmaka připravují, patří například Oddělení radiofarmak Ústavu jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

2. V Nemocnici na Homolce (ÚJV Řež, a. s.) se připravují hlavně radionuklidy pro PET (Positron Emission Tomography), což jsou momentálně v ČR především ^{11}C (poločas přeměny 20 minut) a ^{18}F (poločas 110 minut), které se vyrábí ozařováním terčového materiálu na cyklotronu. Sloučeniny to jsou hlavně ^{18}F -2-fluorodeoxygukoza, ^{18}F - NaF, ^{18}F -Cholin a ^{11}C -Methionin. Pro potřeby určení stáří biologických materiálů se používá radiokarbonová metoda datování (radiouhlíková metoda). Je založena na výpočtu poklesu množství uhlíku ^{14}C v původně živých organismech.

V živých organismech je přibližně stejné množství nuklidu ^{14}C po celou dobu jejich života. Po smrti toto množství klesá podle rozpadového zákona. Z poklesu uhlíku lze odhadnout stáří materiálu.

Tato metoda je využívána v archeologii či etnobotanice. Vzorky o hmotnosti 20 g mohou být přesné až na 12 let. Pro potřeby geologického datování hornin se využívají nuklidy ^{41}Ca (datování až do 1 milionu let), ^{10}Be (až 15 milionů let) či další nuklidy a metody datování.

3. Při havárii jaderné elektrárny v Černobylu byly do okolního prostředí uvolněny hlavně radionuklidy:
 - Jód ^{131}I – Poločas přeměny je jódu ^{131}I je 8,04 dne a jedná se o těkavou látku, která je rozpustná ve vodě a vstřebatelná do lidského těla, kde se koncentruje ve štítné žláze. Aby se zabránilo jeho hromadění v lidském těle, byly nasazeny tablety jodidu draselného s neradioaktivním jódem.
 - Césium ^{134}Cs , ^{137}Cs – Poločas přeměny ^{137}Cs je 30 let. Cesium se v tělech chová jako draslík a usazuje se ve svalovině či vaječnicích. Cesium se usazuje v buňkách, kde poškozuje řetězce DNA
 - Stroncium ^{89}Sr , ^{90}Sr – Stroncium 90 má poločas přeměny 27,7 let a chemicky se chová jako vápník. Proto dochází k jeho usazování v kostech, kde může způsobit zpomalení krvetvorby, leukémii a jiných nádorových onemocnění. Zdrojem ^{90}Sr je mléko ze zasažené oblasti.