

Stavba atomu, radioaktivita a její využití

Úloha 1. Částicová stavba jádra a radioaktivní přeměny

Téma: stavba jádra, radioaktivita; typ úlohy: ověřovací

Student má k dispozici periodickou soustavu prvků a kalkulačku.

Úkol 1: Přiřaďte názvy (1 – 4) k následujícím reakcím (A – D).

- | | |
|---|--|
| 1. Rozpad α za vzniku nebezpečného plynu | A) $^{30}\text{P} \rightarrow ^{30}\text{Si} + e^+ + E$ |
| 2. Rozpad β doprovázený zářením γ | B) $^{235}\text{U} + n \rightarrow ^{140}\text{Ba} + ^{94}\text{Kr} + 2 n$ |
| 3. Rovnice štěpení uranu v jaderné elektrárně | C) $e^- + p^+ \rightarrow n^0$ |
| 4. Záchyt elektronu jádrem atomu | D) $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} + ^4\text{He}$ |

Úkol 2: Při plnění následujících úkolů vycházejte z rovnic uvedených v úkolu 1.

5. Který prvek má v jádře nejvíce neutronů?
6. Které prvky patří mezi inertní plyny (18. skupina)?
7. Jaký plyn je považován za zdravotně nebezpečný? Jakou nemoc může způsobovat?
8. Jak se nazývá skupina PSP, kam patří baryum a radium?
9. Která z uvedených částic je nejlehčí?

Úloha 2. Poločas přeměny

Téma: radioaktivita; typ úlohy: motivační

Úloha je určena pro domácí vyřešení.

Text: Poločas přeměny je doba, za kterou se rozpadne polovina radioaktivní látky (přesněji polovina radioaktivních jader, která byla přítomna na začátku). Ze zbývající poloviny se pak za další poločas přeměny opět polovina (tj. zbývá $\frac{1}{4}$ původního množství). Poločas přeměny je charakteristická konstanta pro daný radionuklid (soubor radioaktivních atomů o stejném protonovém i nukleonovém čísle) a jeho hodnoty jsou pro vybrané radionuklidy demonstrovány v následující tabulce. U známých radionuklidů se poločasy radioaktivních přeměn pohybují od zlomků sekundy po miliardy let. Existuje dokonce teorie, že všechny prvky na světě jsou radioaktivní. Pouze jejich poločas přeměny je tak dlouhý, že jej zatím neumíme změřit.

Tabulka: Radionuklidy a jejich poločasy přeměny

Radionuklid	^{235}U	^{14}C	^{226}Ra	^{60}Co	^{222}Rn
Poločas přeměny	700 000 000 let	5 730 let	1 602 let	5,7 let	3,8 dne

Úkol: Na příští hodinu si z následující tabulky vyberte 2 z uvedených izotopů uranu, uhlíku, radia nebo kobaltu a zjistěte, jaké je (popřípadě dříve bylo) jejich praktické využití. Jakou roli v životě člověka může hrát poslední zmíněný radionuklid ^{222}Rn ?

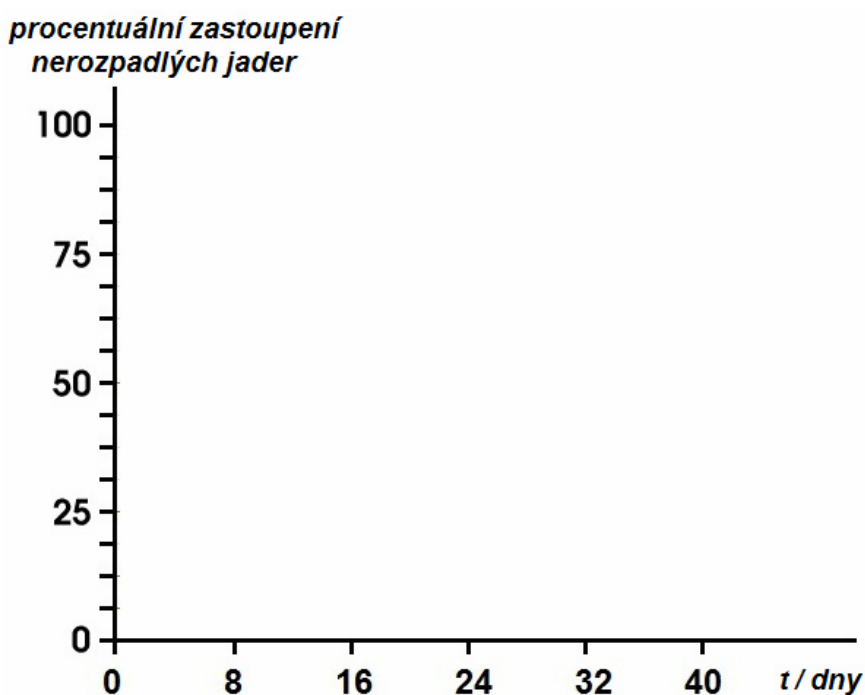
Úloha 3. Rozpad radioaktivního izotopu ^{131}I

Téma: radioaktivita; typ úlohy: ověření pochopení a aplikace

Student má k dispozici kalkulačku.

Text: Radioaktivita daného množství nestabilního izotopu se s časem snižuje. Pokles jeho radioaktivity se řídí tzv. rozpadovým zákonem a hlavní charakteristikou každého radioaktivního izotopu je poločas přeměny. Poločas přeměny je definován jako doba, za kterou se rozpadne právě polovina množství prvku. Po uplynutí doby 10 poločasů přeměny, kdy radioaktivita daného izotopu klesne přibližně 1000×, můžeme považovat radioaktivní izotop za neškodný. Výjimkou mohou být např. velké průmyslové zářiče o vysoké radioaktivitě, u nichž i po uplynutí doby 10 poločasů přeměny je zbytková radioaktivita natolik vysoká, že by při neodborné manipulaci mohlo dojít k ohrožení zdraví či znečištění životního prostředí. Např. jód ^{131}I , který má poločas přeměny $\tau_{1/2} = 8 \text{ dní}$, může být použit v medicíně pro vyšetřování štítné žlázy, srdce, jater, ledvin, střev či krve, či ve formě léku využít i k terapeutickým účelům při léčení některých typů zhoubných nádorů.

Úkol 1: Zakreslete do následujícího grafu, jaké bude procentuální zastoupení ^{131}I na počátku měření a dále po 8, 16, 24, 32 a 40 dnech.



Graf: Rozpad radioaktivního izotopu ^{131}I

Úkol 2: Za kolik dní můžeme považovat medicínský přípravek obsahující ^{131}I za „neškodný“?

Úloha 4. Měření poklesu radioaktivity neznámého izotopu

Téma: radioaktivita; typ úlohy: ověření pochopení a aplikace

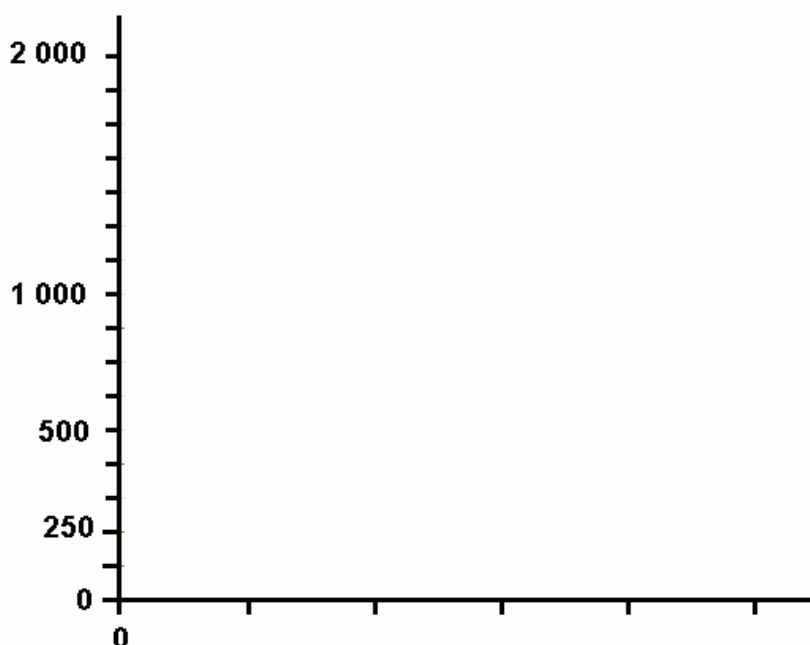
Student má k dispozici kalkulačku.

Text: Michal měřil v radiochemické laboratoři počet impulzů neznámého radioaktivního vzorku. První den u vzorku naměřil 2135 impulzů, osmý den 1052 impulzů, patnáctý den 525 impulzů a po měsíci 138 impulzů.

Poznámka: Impulz je detekovaný rozpad. Různé typy měřících přístrojů mají různou účinnost měření a detekují různou část z celkového emitovaného záření.

Úkol 1: Určete přibližný poločas přeměny neznámého izotopu.

Úkol 2: Zakreslete údaje o poklesu počtu naměřených impulzů v čase do grafu a vhodně popište osu x a y.



Graf: Měření poklesu radioaktivity neznámého izotopu

Úloha 5. Aplikace radionuklidů a ionizujícího záření v potravinářství

Téma: aplikace ionizujícího záření; typ úlohy: motivační

1. Zadat žákům otázku, jak dlouho jim vydrží jahody ze zahrádky v lednici? A jak dlouho kupované z obchodu, např. dovezené ze zahraničí? Co způsobuje, že se doba, po kterou můžeme potraviny skladovat, liší?
2. Ukázat žákům fotku jahod a zadat úkol: Navrhněte způsob ošetření jahod, který by prodloužil jejich trvanlivost a zároveň neovlivnil jejich požitelnost.



Obr. 1: Jahoda v zahrádce – vzorový obrázek

3. Poté ukázat obrázek 2: Oba talíře s jahodami byly skladovány za stejných podmínek v lednici po dobu 1 týdne.
4. Zadat žákům za úkol, aby popsali rozdíly mezi oběma vzorky.
5. Doplnující otázka pro žáky: Jak si myslíte, že bylo zabráněno tomu, že jahody nalevo se ani po týdnu skladování nezměnily?



Obr. 2: Změny na jahodách po týdnu skladování

Úloha 6. Vyberte jedno *nesprávné* tvrzení.

Téma: radioaktivita; typ úlohy: ověřovací na pochopení učiva

Ozařováním potravin ionizujícím zářením se:

- a) zničí choroboplodné zárodky
- b) prodlouží dobu skladovatelnosti potravin
- c) potraviny se stanou radioaktivní
- d) zabrání předčasnému klíčení

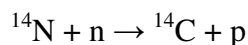
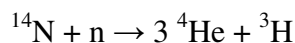
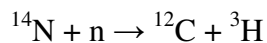
Úloha 7. Radiouhlíková metoda určování stáří předmětů

Téma: radioaktivita; typ úlohy: motivační, ověření pochopení učiva a jeho aplikace

Student má k dispozici kalkulačku

Text: Stáří různých předmětů pro nás může hrát důležitou roli v celé řadě oborů, jako jsou např. archeologie, historie nebo dějiny umění. Jednou z neznámějších metod je radiouhlíková metoda, která je založena na radioaktivním izotopu uhlíku ^{14}C a používá se pro určování stáří předmětů biologického původu.

Působením kosmického záření, resp. protonů a dalších nabitých částic v něm obsažených na částice atmosféry vznikají neutrony. Tyto neutrony způsobují v atmosféře celou řadu jaderných reakcí, uvedme si aspoň následující příklady:



Třetí z uvedených reakcí vzniká právě radioizotop ^{14}C . Poločas přeměny ^{14}C je přibližně 5 700 let. V atmosféře se dále oxiduje na CO_2 . Jako CO_2 ho přijímají dýcháním rostliny, živočichové pak převážně ve stravě. V důsledku toho se v nich ustálí rovnováha mezi neradioaktivním izotopem ^{12}C a radioaktivním izotopem ^{14}C . Stabilní izotop ^{13}C nemá na fungování této metody význam. Rovnovážná radioaktivita ^{14}C v 1 g organického uhlíku je přibližně 0,255 Bq.

Po smrti rostliny či živočicha se začne ^{14}C rozpad a rovnováha se poruší. Přibližnou dobu od smrti rostliny či živočicha můžeme určit podle jednoduchého vztahu

$$A = 0,255 \cdot e^{-\lambda t} \text{ Bq} ,$$

kde A je změřená radioaktivita, λ je rozpadová konstanta a t je stáří předmětu. Tento vzorec slouží pouze k orientačnímu přiblížení ke skutečnému stáří předmětu, při samotném výpočtu je třeba vzít v úvahu rušivé vlivy. Tato metoda v praxi vyžaduje i náročné instrumentální vybavení (kvůli detekci β^- záření o nízké energii, které ^{14}C vyzařuje).

Historický kontext metody: „Za základní práci o této metodě je možná považovat knihu Radiocarbon Dating od prof. W. F. Libbyho. Objev nové metody vzbudil mimořádný zájem. Již počátkem roku 1948 sestavila American Anthropological Association pracovní výbor, jehož úkolem bylo systematicky prozkoumat možnosti využití nové metody v archeologii. V té době byly na

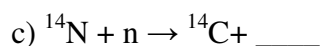
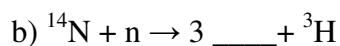
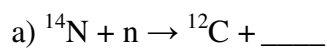
vrcholu rozkvětu egyptologické studie a obecněji výzkum celé středomořské oblasti. Radiouhlíkové datování dosáhlo několika významných úspěchů při stanovování stáří předmětů pocházejících z hrobů egyptských faraonů (dřevo z trámu nalezeného v hrobě faraona Džósera, dřevo ze zádušní bárky faraona Senwosreta atp.), pak však přišel zdánlivě drtivý úder. Jeden z nejvýznamnějších archeologů USA, zakladatel Orientálního ústavu University v Chicagu James. H. Breasted, zaslal Libbymu kus dřeva ze starého faraonského sarkofágu a Libbyho měření vedlo k závěru, že dřevo je nové. Rozpor mezi archeologickou kapacitou a novou fyzikální metodou však rozřešil sám Breasted. Prozkoumal sarkofág znovu a zjistil, že se nechal oklamat moderním padělkem. Porážka metody se naopak proměnila ve skvělý úspěch.

Úkol 1: Proč se vyskytuje v rovnicích právě izotop dusíku ^{14}N ?

Úkol 2: Jak byste zapsali Bq v SI jednotkách? Jaká je hodnota rozpadové konstanty ^{14}C v Bq?

Úkol 3: Pokuste se vzpomenout, jaké informace a vlastnosti o izotopu vodíku ^3H už znáte?

Úkol 4: Doplnit do následujících rovnic chybějící částice



Úkol 5: Jak se liší chemická a jaderná reakce?

Úkol 6: Jaký izotop uhlíku má na zemi nejvyšší zastoupení?

Úkol 7: Laboratoř zabývající se metodou určování stáří archeologických nálezů dostala za úkol zjistit, zda vzorek dřeva z trůnu mohl patřit faraonu Džóserovi, který žil v 27. století před naším letopočtem. Víte, že vzorek dřeva vážící 5,6 gramů obsahoval 42 % uhlíku. Účinnost detekční metody na ^{14}C byla 27 %. Aktivita vzorku byla určena jako 0,158 Bq. Určete, zda se skutečně může jednat o vzorek z trůnu faraona Džósera.

Úkol 8: Proč je v rovnici pro výpočet aktivity uvedena konstanta „255“?

Úloha 8. Rozhovor

Téma: radioaktivita; typ úlohy: motivační

Pro oživení a rozšíření pestrosti materiálů je pro studenty připraven rozhovor s Mgr. Kamilou Šťastnou, která se účastnila plavby v Tichém oceánu po nehodě v jaderné elektrárně Fukušima. Při výzkumné plavbě byly monitorovány radioaktivní izotopy, které se při havárii a následném chlazení bloků jaderné elektrárny dostaly do oceánu.

V rámci studia na gymnáziu má být podle RVP realizovaná i mediální výchova pomocí průřezových témat. Žáci mají mít schopnost hodnotit obsah mediálního sdělení a interpretovat jej. Tento učební text může vyučující použít právě při plnění průřezových témat – mediální výchovy.

Rozhovor se svým stylem liší od klasických učebních úloh používaných v chemii a mohl by zaujmout i studenty, kteří preferují humanitní předměty před přírodovědnými.

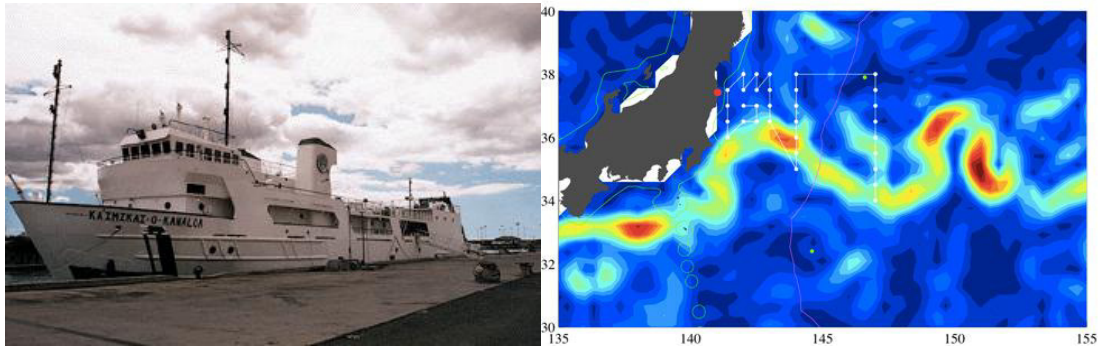
Monitorování radioaktivních prvků v Tichém oceánu po výbuchu ve Fukušimě

Můžete čtenářům v úvodu rozhovoru v krátkosti připomenout, co se vlastně ve Fukušimě stalo?

Dne 11. března 2011 došlo v Tichém oceánu 130 kilometrů východně od pobřeží Japonska k zemětřesení. Zemětřesením vyvolané vlny tsunami poškodily chladicí systém v jaderné elektrárně Fukušima (Fukushima Daiichi). V důsledku přehřátí jaderného reaktoru došlo k explozi vznikajících plynů, která uvolnila do atmosféry radioaktivní prvky. Další kontaminaci do okolí elektrárny zanesla voda použitá při chlazení reaktorů a bazénů s použitým jaderným palivem.

Jak průzkum oblasti probíhal?

V souvislosti s touto událostí zorganizoval americký Oceánografický institut ve Woods Hole mezinárodní projekt zabývající se stanovením úrovní radioaktivní kontaminace v Tichém oceánu. Účelem projektu bylo zjistit druhy, množství a způsoby šíření uvolněných radionuklidů. Výsledky byly využity ke studiu mořských proudů a možnému šíření radionuklidů v potravním řetězci. Součástí výzkumu byla výzkumná plavba západní částí Tichého oceánu východně od pobřeží Japonska, podél a přes mořský proud Kuroshio, které jsem měla příležitost se zúčastnit.



Obr.1: Výzkumná loď Ka'imikai-O-Kanaloa (nalevo) a trasa lodi (napravo)

Plavili jste se poblíž japonského pobřeží, neměla jste strach o své zdraví?

Strach jsem neměla. Neplavili jsme se v těsné blízkosti Fukušimy, nejbližší jsme se dostali na vzdálenost 30 kilometrů, nejdále pak 200 kilometrů, a plavba trvala pouze 15 dní. Před plavbou jsme obdrželi od organizátora informace o bezpečnosti, založené na datech poskytnutých japonským Ministerstvem školství, kultura, sportu, vědy a technologie (MEXT) a firmou TEPCO. TEPCO je největší japonská elektrárenská společnost vlastnící a provozující též elektrárnu ve Fukušimě. Pro oblasti vzdálené 15 a 30 kilometrů uváděly hodnoty objemových radioaktivit (pokud byly vůbec detekovatelné) pro rizikové radionuklidy ^{131}I , ^{134}Cs a ^{137}Cs a jejich srovnání s japonskými přípustnými hodnotami pro oceán.

O měření případné radioaktivní kontaminace na palubě se staral dozimetrista, který minimálně jednou denně procházel loď a měřil dávkové příkony ve společných prostorách. Z nejvíce exponovaných míst (zábradlí, kliky) prováděl stěry filtračním papírem, které následně měřil Geiger-Müllerovým počítačem. Žádná povrchová kontaminace na lodi nebyla zaznamenána.

Jak velkou dávku jste při pobytu obdrželi?

Celková radiační dávka obdržená během pobytu na lodi byla stanovena dvěma elektronickými osobními dozimetry, jedním umístěným v podpalubní laboratoři a druhým na opasku dozimetristy. Podle těchto měření obdržel pracovník za dobu pobytu na výzkumné plavbě průměrně celkovou dávku $10\ \mu\text{Sv}$ (pro porovnání: ve střední Evropě za 15 dní obdržíme z přírodního pozadí asi $140\ \mu\text{Sv}$).

Jaké radioaktivní prvky a proč jste při plavbě monitorovali?

Přímo na lodi probíhalo stanovení radioaktivních izotopů cesia, které bylo i náplní mojí práce. Dále se v mořské vodě stanovovaly přírodní izotopy radia s krátkým poločasem přeměny. Výskyt krátkodobých izotopů radia ^{223}Ra (poločas přeměny $\tau_{1/2} = 11,1$ dní) a ^{224}Ra (poločas

přeměny $\tau_{1/2} = 3,6$ dní) v mořské vodě znamená jejich trvalý přísun z pevniny a tedy možnost kontaminace oceánu z povrchových a podzemních vod.

Stanovení cesia přímo na palubě lodi mělo především orientační a bezpečnostní charakter a poskytlo údaje o relativním rozložení kontaminace ve zkoumané oblasti. Přesně bylo cesium přeměřeno až v laboratořích na pevnině.

Jaké byly závěry z vašeho výzkumu?

Nejvyšší obsah radioaktivního cesia byl zjištěn v oblastech blízko pobřeží, i když se nejednalo o stanice nejbližší Fukušimě. Nejvyšší radioaktivita, $3\,900\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, se nacházela v oblasti semipermanentního víru, jehož střed je umístěn na 37° severní šířky a $142,5^\circ$ východní délky. Radioaktivita kolem $300\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ byly zjištěny i na východní hranici zkoumané oblasti. Poměr aktivit $^{137}\text{Cs}:^{134}\text{Cs}$ byl blízký jedné, což potvrzuje původ z úniků z jaderné elektrárny. V oblasti pod mořským proudem Kuroshio byly hodnoty objemové radioaktivity ^{134}Cs pod hranicí detekovatelnosti a ^{137}Cs na úrovni hodnot před havárií, $1\text{--}2\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (pozůstatek kontaminace z období testování jaderných zbraní v 60. letech 20. století a v menší míře z havárie v jaderné elektrárně Černobyl), což naznačuje, že proud Kuroshio tvoří bariéru průniku kontaminace na jih.

Zjištěné hodnoty ukazují na významné zředění unikající radioaktivity již ve stanicích nejbližší Fukušimě. Hodnoty v místech úniků v elektrárně byly v červnu 2011 průměrně $33\,000\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. V důsledku mísení poklesly všechny hodnoty objemových radioaktivit naměřené v námi zkoumané oblasti podstatně pod japonské regulační limity pro oceán ($90\,000\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) a ve stanicích vzdálených 30 km od Fukushimy se pohybovaly v rozmezí $600\text{--}800\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Tyto hodnoty byly též pod úrovní radioaktivity nejrozšířenějšího přírodního radionuklidu v oceánu – draslíku ^{40}K ($\sim 12\,000\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$).



Obr. 2: Odebírání vzorků mořské vody (nalevo) a podpalubní laboratoř (napravo)

Rozhovor poskytla Mgr. Kamila Šťastná, které za rozhovor děkujeme.

Doplňující úlohy k rozhovoru:

Úkol 1: Jakou průměrnou radiační dávku o od přírodního pozadí obdržíte ve střední Evropě za jeden rok?

Úkol 2: V jakých místech byla naměřena vyšší radioaktivita než radioaktivita draslíku ^{40}K ?

Úkol 3: Porovnejte naměřené hodnoty radioaktivity uniklého cesia v mořské vodě s běžně přítomným radioaktivním draslíkem ^{40}K .

Úloha 9. Radioaktivita a jaderné energetika

Téma: radioaktivita a jaderná energetika; typ úlohy: ověření pochopení učiva

Student má k dispozici kalkulačku.

Úkol: Vyberte **správné** tvrzení:

- 1) Umělá radioaktivní rozpadová řada se nazývá:
 - a) neptuniová
 - b) aktiniová

- 2) Radioaktivita je:
 - a) samovolná schopnost jader se přeměňovat
 - b) doba, za kterou se přemění polovina původního množství atomů

- 3) V České republice se jaderná energetika podílí na produkci přibližně
 - a) 5 % energie
 - b) 30 % energie

- 4) Velké bílé věže u jaderných elektráren slouží
 - a) k šetrnému uvolňování radioaktivity do atmosféry
 - b) ke chlazení vody v jaderné elektrárně

Úloha 10. Podstata radioaktivity

Téma: radioaktivita; typ úlohy: vysvětlovací

V učebnicích chemie velmi často chybí uvedení podstaty radioaktivity jako vlastnosti izotopu. Ta jde demonstrovat na jednoduchém příkladu s izotopy vodíku (${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$ a ${}^3\text{H}$). V úvodu je uveden jednoduchý úkol pro žáky, vyplnit následující tabulku:

Úkol: Doplňte do tabulky počty elementárních částic, které jsou v následujících atomech:

Tabulka: Stavba atomu izotopů vodíku

Izotop	Počet protonů	Počet neutronů	Počet elektronů	Poměr neutrony:protony
${}^1\text{H}$				
${}^2\text{H}$				
${}^3\text{H}$				

Poté je možno na poměru počtu neutronů a protonů v jádře vysvětlit, že pokud je poměr špatný (izotop leží mimo tzv. linii stability (závislost počtu protonů na počtu neutronů), jádro je nestabilní a tato nestabilita se projevuje jako jev zvaný radioaktivita. Tritium (${}^3\text{H}$) s poměrem 2:1 na rozdíl od lehkého vodíku (${}^1\text{H}$) a deuteria (${}^2\text{H}$) je radioaktivní s poločasem přeměny 12,3 let.