

## Úloha V.5 . . . skladník Boba

4 body; průměr 3,04; řešilo 25 studentů

Skladník Boba měl ve svém sibiřském příbytku přímotop s příkonem 2 kW po pradědečkovi jako jediný zdroj vytápění. Když se na podzim začalo trochu ochlazovat, rozhodl se po dlouhé době přímotop zapnout, ale zjistil, že již nefunguje. Boba byl celý nešťastný, protože se mu nechtělo utrácet celé své úspory za nový přímotop. Když si pak dal něco na zahřátí a zahrání deprese, napadl ho geniální nápad: ve skladu, kde pracuje, se válejí tuny hřejivého plutonia 237. Kolik plutonia si má Boba odnést do svého příbytku, aby nahradil doslouživší přímotop a v následující zimě neumrzl? Předpokládejte, že plutonium je téměř čisté a má doma dost oloveného nádobí po prapraprababičce, takže dokáže zachytit veškerou vycházející energii.

Marek letěl na Sibiř a Lukáš mu mával.

Skladník Boba si teda domov priniesol určité množstvo  ${}^{237}_{94}\text{Pu}$ , ktoré sa mu s časom rozpadá (elektrónovým záchyтом) na  ${}^{237}_{93}\text{Np}$  – vďaka čomu môže Boba prežiť zimu a nezamrznúť.

Začneme počítat od konca. Boba teda potrebuje na konci zimy výkon minimálne 2 kW. Príslušná veličina, ktorá kvantifikuje „silu“ žiariča, sa nazýva aktivita a je definovaná ako počet úbytku jadier (doposiaľ nepremených) za jednotku času alebo ekvivalentne ako počet jadier, ktoré sa premieňajú za jednotku času. Túto skutočnosť môžeme vyjadriť vzťahom

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad (1)$$

kde  $N$  je okamžitý počet nerozpadnutých jadier a  $\lambda$  je rozpadová konštanta, charakterizujúca daný izotop. Jednotka aktivity je Bq (Becquerel) – jeden rozpad za jednu sekundu.

Celkový energetický výkon žiariča je teda energia uvoľnená pri jednom rozpade vynásobená aktivitou žiariča

$$P = A\Delta E.$$

Čo to teda ten elektrónový záchyt ale je? Je to jadrová premena, pri ktorej jadro zachytí a pohltí elektrón z elektrónového obalu za vzniku neutrónu a neutrína



Pri tomto procese sa žiadne žiarenie z jadra nevysielajú. Ako je to teda ale rádioaktívna premena? Charakteristické žiarenie sa vysielajú až pri prechode elektrónu z vyššej vrstvy elektrónového obalu na novo uvoľnené miesto v nižšej vrstve.

Teraz nám už nič nebráni vrhnúť sa do počítania. Všetky potrebné údaje nájdeme na internete<sup>1</sup> alebo v tabuľkách. Pre  ${}^{237}_{94}\text{Pu}$  nachádzame  $\Delta E = 220,03 \text{ keV}$  a  $\lambda = 1,78 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ . Ešte pár vzorcov z chémie a pre hmotnosť  ${}^{237}_{94}\text{Pu}$  na konci zimy (kedy požadujeme výkon 2 kW) tak dostávame

$$m_k = \frac{M}{N_A} \frac{P}{\lambda \Delta E} \doteq 126 \text{ g},$$

kde  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  je Avogadrova konštanta a  $M = 237 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  je molárna hmotnosť  ${}^{237}_{94}\text{Pu}$ . Z exponenciálneho rozpadového zákona (ktorý je mimochodom riešením definičnej rovnice (1) pre aktivitu) vieme, že počet nerozpadnutých jadier klesá s časom  $t$  exponenciálne – pre hmotnosť  ${}^{237}_{94}\text{Pu}$  na začiatku zimy tak máme

$$m_z = \frac{m_k}{e^{-\lambda t}} \doteq 1,26 \text{ kg},$$

<sup>1</sup>Napríklad na <http://www.wolframalpha.com/input/?i=plutonium+237>.

kde sme uvažovali, že zima na Sibíri trvá asi tak 150 dní. Nejaké to kilo plutónia by nám teda na prežitie zimy malo stačiť!

Ako to už s jadrovými reakciami ale býva, nič nie je zadarmo a nanešťastie je tu otázka, ako sa vysporiadať so samoštiepením  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  (pri premene sa z jadra nič nevyžarovalo, takže rozdiel energií materského a dcérskeho jadra sa odrazil v excitácii dcérskeho jadra), ktoré sa nám v chalupe hromadí a hromadí. . .

*Radomír Gajdošoci*  
radomir@fykos.cz

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.