



Záleží na tom, jak se do toho třískne

Karel Rauner¹, Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

V pohádkách se často vyskytují příhody, které jsou vhodnými náměty k řešení fyzikálních problémů. I nenápadná scéna z dvojfilmu *Císařův pekař – Pekařův císař*, ve které císař Rudolf II. předvádí svoji alchymistickou laboratoř magistru Kellymu, může být zdrojem fyzikální zábavy spojené s procvičováním jaderné fyziky.



Toto je Josef Kemr ve filmu *Císařův pekař – Pekařův císař*. V alchymistické laboratoři se pokouší vyrobit zlato z olova tím, že do kusu olova mlátí palicí. Je velmi neúnavný a po každé ráně zkoumá lupou olovo, zda se tam neobjevily kousky zlata. Svou trpělivost a to, že se mu celá věc nedaří, vysvětluje slovy, která jsem si vypůjčil na titulky tohoto článku. Tuto oblíbenou scénku jsem si vybral i jako motivaci ke kapitole o jaderných reakcích v učebnici pro 9. třídu.

Do jaké míry je však snaha alchymisty reálná? Jak by se do toho muselo třísknout? Zkusme to vypočítat. Předpokládejme, že palice je železná. V přírodě se vyskytující železo obsahuje 91,8 % izotopu $^{56}_{26}\text{Fe}$. Budeme předpokládat jadernou reakci s izotopem olova $^{208}_{82}\text{Pb}$, kterého je

v přírodním olovu 52,4 %. Jaderná reakce může probíhat různými způsoby. My ale chceme vyrobit zlato v podobě stabilního izotopu $^{197}_{79}\text{Au}$. Budeme se proto věnovat jedné z možných jaderných reakcí:



Atomové hmotnosti jednotlivých nuklidů jsou přibližně: 55,934 9 u, 207,976 6 u, 196,966 5 u, u je atomová hmotnostní jednotka. Vedlejším produktem je radioaktivní izotop mědi, jehož atomová hmotnost je 66,927 8 u. O měď se příliš starat nemusíme, rozpadne se na stabilní zinek s poločasem rozpadu 62 hodin:



Jedná se o radioaktivní rozpad beta, $^0_{-1}\beta^-$ je částice beta – elektron s velkou energií, $^0_0\tilde{\nu}_e$ je elektronové antineutrino.

Je jasné, že při výrobě jednoho gramu zlata na jedno třísknutí vyprodukuje i zhruba třetinu gramu radioaktivní mědi s obrovskou aktivitou. Znamená to, že po třísknutí palicí musíme rychle utéct a zlato si ze vzorku vybrat až třeba po roce, kdy bude již aktivita vzorku zanedbatelná. Jak ale musím třísknout? Energetická bilance jaderné reakce (1) je příznivá: součet hmotností na levé straně je 263,911 5 u, na pravé straně 263,896 3 u, reakce je tedy exoenergetická. To posiluje podnikatelský záměr možnou produkcí energie jako přidružené výroby k výrobě zlata. Ke každému gramu zlata uvolníme energii téměř 2 MWh. Kdyby se tuto energii podařilo celou převést na elektrickou energii, byl by zisk z prodeje této energie dokonce ještě větší než z prodeje zlata.

Aby ale reakce nastala, musí se k sobě přiblížit atomová jádra železa a olova na vzdálenost, na kterou působí jaderné síly. Při uvažování rozměrů jader a možnosti tunelového jevu je to asi $r = 10^{-14}$ m. Protože jsou obě jádra kladná, musí úder palicí překonat coulombovskou bariéru, to znamená, že jádra musí mít kinetickou energii překonávající potenciální energii jader v uvedené vzdálenosti

$$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r} , \quad (3)$$

¹ rauner@kmt.zcu.cz



kde ϵ_0 je permitivita vakua, Q_1, Q_2 jsou elektrické náboje jader železa a olova. Po dosazení vychází energie asi $50 \cdot 10^{-12}$ J. Toto musí být kinetická energie každého atomu železa a odpovídá asi 300 MeV. Pokud počítáme z nerelativistického $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$, kam za m dosadíme hmotnost atomu železa, vyjde nám rychlost asi 30 000 km/s. To představuje samozřejmě nemalou komplikaci: mlátit palicí by se muselo ve vakuu, aby se nám palice neroztavila a rukojeť neshořela. Alchymista by tedy musel být ve skafandru.

Poznámka 1: Počáteční aktivitu 0,3 gramu mědi lze snadno vypočítat:

$$A_0 = \lambda \cdot N_0 = \frac{\ln 2}{T} \cdot N_0 = \frac{\ln 2}{62 \cdot 3600} \cdot \frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{67 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} \text{ Bq} = 8,3 \cdot 10^{15} \text{ Bq} , \quad (4)$$

kde λ je rozpadová konstanta, T je poločas přeměny a N_0 počáteční počet atomů ve vzorku, který vypočítáme jako poměr hmotnosti vzorku a hmotnosti jednoho atomu. Aktivita 8 petabecquerelů je strašlivá a alchymista by musel utíkat do krytu opravdu rychle. Aktivita klesá s časem podle známého vzorce

$$A = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t} . \quad (5)$$

Zkusme spočítat, za jak dlouho klesne na přijatelnou hodnotu 1 kBq.

$$t = \frac{\ln \frac{A_0}{A}}{\ln 2} \cdot T \doteq 9,6 \cdot 10^6 \text{ s} \doteq 110 \text{ dní} . \quad (6)$$

Poznámka 2: Pokud by se skutečně podařilo alchymistovi třísknout do olova popsáním způsobem, do krytu nemusí utíkat. Důvod je nasnadě: alchymista se vypaří. Při uvedené rychlosti 30 000 km/s je kinetická energie palice, jejíž hmotnost odhadujeme na $M = 4$ kg, obrovská:

$$W_{kp} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 = 1,8 \cdot 10^{15} \text{ J} . \quad (7)$$

Protože se udává, že jedna kilotuna TNT je ekvivalentní energii asi $4 \cdot 10^{12}$ J, odpovídá tato energie téměř 500 kilotunám TNT. Úder palicí s uvedenou rychlostí by tedy měl větší účinek než 20 jaderných bomb svržených na Hirošimu. Tunguský meteorit měl energii o řád menší než naše palice. Je zřejmé, že najít v kráteru, který vznikne v epicentru takového výbuchu, 1 gram vyrobeného zlata, se asi nepodaří.



Zdroje číselných údajů

<http://atom.kaeri.re.kr/ton/index.html>

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kilogram>

<http://www.zine.cz/mirror/AZOld/Astro/astro45.htm>

Zdroje obrázků

<http://www.youtube.com/watch?v=MyPSqY69Hdc>

[http://www.nasa.gov/images/content/](http://www.nasa.gov/images/content/251321main_Eva_Suits01.jpg)

[251321main_Eva_Suits01.jpg](http://www.nasa.gov/images/content/251321main_Eva_Suits01.jpg)

http://volcano-pictures.info/glossary/pit_crater.html

