

Úloha VI.P ... vypni to – nejde to

5 bodů; průměr 3,50; řešilo 12 studentů

Kolik lidí dokáže za sekundu usmrtit nestíněný jaderný reaktor? Lukáš chtěl zachránit svět.

Ujasněme si nejprve, jakými způsoby může jaderný reaktor zabít. Z reaktoru vychází různé typy záření, právě ty jsou smrtonosné. Jde jednak o tepelné záření, které se uvolňuje jako kinetická energie produktů rozpadu, jednak o ionizující záření, tj. α , β a γ záření. Na wikipedii¹ najdeme poměry energií vyzářených v různých typech záření pro ^{235}U :

- Celková vyzářená energie: 202,5 MeV,
- kinetická energie jader: 169 MeV,
- kinetická energie neutronů: 4,8 MeV,
- primární γ emise: 7 MeV,
- sekundární záření β : 6,5 MeV,
- sekundární záření ν , $\bar{\nu}$: 8,8 MeV,
- a sekundární γ emise: 6,3 MeV.

Sekundární emise označuje β a γ záření vyzářené s časovým odstupem po samotném štěpení. Jde převážně o samovolný β rozpad primárních produktů štěpení.

Vidíme, že $\sim 86\%$ energie se uvolňuje ve formě tepla, dále $\sim 6,5\%$ v γ záření a nakonec $\sim 4,5\%$ v β záření. Neutrino nemusíme uvažovat, protože interagují pouze velmi slabě a člověku nijak neublíží (naprostá většina z nich projde Zemí, aniž by interagovala). Protože neutrony ztratí většinu své energie v moderátoru a též je potřebujeme na udržení jaderného reaktoru v chodu, nebudeme je dále uvažovat.

Budeme uvažovat reaktor výkonem odpovídající temelínské elektrárně. Její výkon je 1 GW, proto celkový (tepelný)² výkon reaktoru je ~ 3 GW.

Nejdříve odhadneme energii v tepelném záření, která by byla pro člověka smrtelná. Budeme uvažovat, že člověk má stejnou tepelnou kapacitu jako voda a že smrtelné je zvýšení tělesné teploty o 6°C . Při hmotnosti 70 kg je potřebná energie $E_{\text{st}} \approx 1,8$ MJ. Proto tepelná energie způsobí přehřátí přibližně 1 700 lidí za sekundu.

Nyní se zaměříme na ionizující záření. Dle³ je fatální dávka ionizujícího záření 8 Sv, kde Sv je jeden sievert⁴ jednotka udávající dávku záření. Vidíme, že pro fotony a elektrony je radiční váhový faktor jednotkový. Zde je též vidět další důvod, proč nemusíme uvažovat neutrony: Tepelné neutrony⁵ mají energii pouze několik elektronvoltů, tj. asi jednu miliontinu původní energie; i přes relativně velký váhový faktor je tedy můžeme zanedbat.

Ze smrtelné dávky ionizujícího záření a výše uvažované hmotnosti „testovací“ osoby jednoduše zjistíme, že smrtelných je již $E_{\text{si}} \approx 560$ J obdržených skrze ionizující záření. Z tohoto vyplývá, že máš reaktor by dokázal usmrtit přibližně 500 000 lidí každou sekundu.

Vidíme, že tepelné záření je naprosto neškodné, i když je ve skoro desetinásobné převaze. Zde je potřeba podotknout, že nešlo o výpočet, ale spíše o odhad, proto je potřeba brát výsledek pouze jako řádový odhad. Na druhou stranu není důvod se čehokoli obávat, stínění reaktoru

¹http://http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission

²Účinnost je odhadnutá, tedy zde můžeme zaměnit celkový a tepelný výkon, protože se liší pouze o několik málo procent, viz též <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrárna>.

³<http://www.xkcd.com/radiation>

⁴<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sievert>

⁵<http://cs.wikipedia.org/wiki/Neutron>

pohlí naprostou většinu emitovaného záření a ven se nedostane více, než kolik vyzařuje sama Země.

Lukáš Ledvina
lukas1@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/>.