

01 Jak zachytit foton

Úkol 1 | Energie fotonu

- a) Nuklid **N-14** v klidu reaguje s nuklidem **He-4** s kinetickou energií $E_{\text{kin}} = 2 \text{ MeV}$. Dojde k jaderné fúzi, při které vyniká pouze jeden dceřiný nuklid. Zapište reakční rovnici a určete reakční produkty.

- b) Při reakci se uvolňuje foton záření gama, jehož energie je rovna kinetické energii. Ze zákona zachování energie a klidové energie reaktantů (viz nuklidová mapa) spočtete energii fotonu. Pro klidovou energii platí:

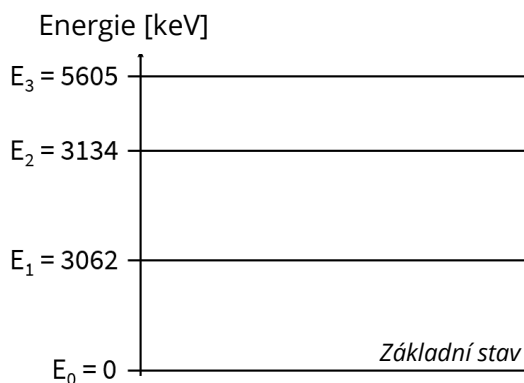
$$E_0 = M \cdot 931,49 \text{ MeV/u} \quad M \dots \text{atomová hmotnost udána v ,u'}$$

Upozornění: Hodnota M je uvedena v nuklidové tabulce, pozor na jednotky. M (udána v ,u') zaokrouhlete alespoň na tři desetinná místa.

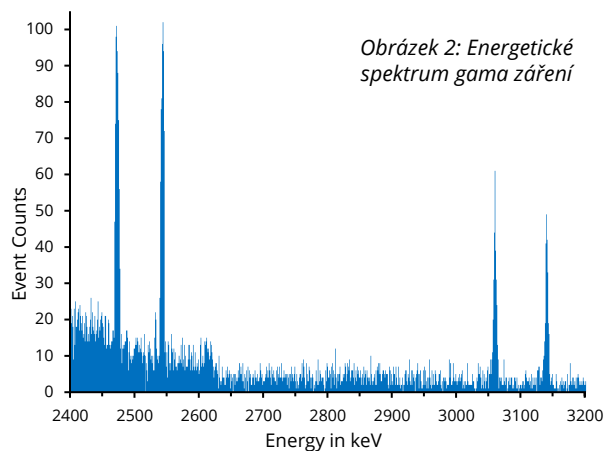
- c) Jaké předpoklady jste museli udělat při výpočtu energie fotonu v bodě 1b? Je spočtená hodnota energie jedinou možnou, jakou foton může mít?

Úkol 2 | Energetické hladiny

Obrázek 1 zachycuje 4 možné energetické hladiny atomového jádra. Při přechodu z excitovaných stavů do základního stavu dochází k emisi fotonů. Jejich energii měříme detektorem. Experiment opakujeme několikrát a zaznamenáváme energetické spektrum (viz Obrázek 2, větší na pracovní nástěnce).



Obrázek 1: Diagram hladin



Obrázek 2: Energetické spektrum gama záření

- a) Některé hodnoty energie fotonů se vyskytují výrazně častěji (na grafu vidíme vrcholy, takzvané peeks, anglicky peeks). Jaká je souvislost mezi energií odpovídající těmto vrcholům a diagramem energetických hladin na Obrázku 1? Vysvětlete. Zapište vztah pomocí rovnic.

- b) Vraťte se k otázce 1c. Souhlasíte stále se svými původními domněnkami? Opravte se, pokud je třeba.

02 Analýza dat

Úkol 3 | Analýza energetického spektra

- Otevřete si webovou stránku, na které jsou k dispozici série výsledků měření z experimentu. Vyberte sadu dat, která vám byla přidělena, a nastavte vhodný interval pro analýzu využijte Grotrianův (term diagram, viz Příloha). Měli byste vidět energetické spektrum gama záření s několika vrcholy. Vyberte některý z vrcholů a použijte funkci výřez (zoom) k jeho detailnímu zobrazení.
- Určete počet **N měřených událostí** pro tento vrchol. Zvažte, jakou **šířku čáry λ** je potřeba použít.

$$\lambda =$$
$$N(\text{_____ keV}) =$$

- Určete počet měřených událostí **N** pro ostatní energetické přechody. Odečtěte pozadí podle ukázky. Zapište výsledky svých měření do společné tabulky.

Úkol 4 | Účinný průřez

Účinný průřez σ reakce je nyní možné spočítat z **počtu událostí N** pro dané přechody. Použijte následující vztah (*vysvětlení hodnot naleznete v příloze*) k výpočtu účinného průřezu pro vaše energetické přechody. Rovněž vypočítejte **celkový účinný průřez σ_T** pro vaši sadu měření (sečtěte průřezy pro všechny uvažované vrcholy).

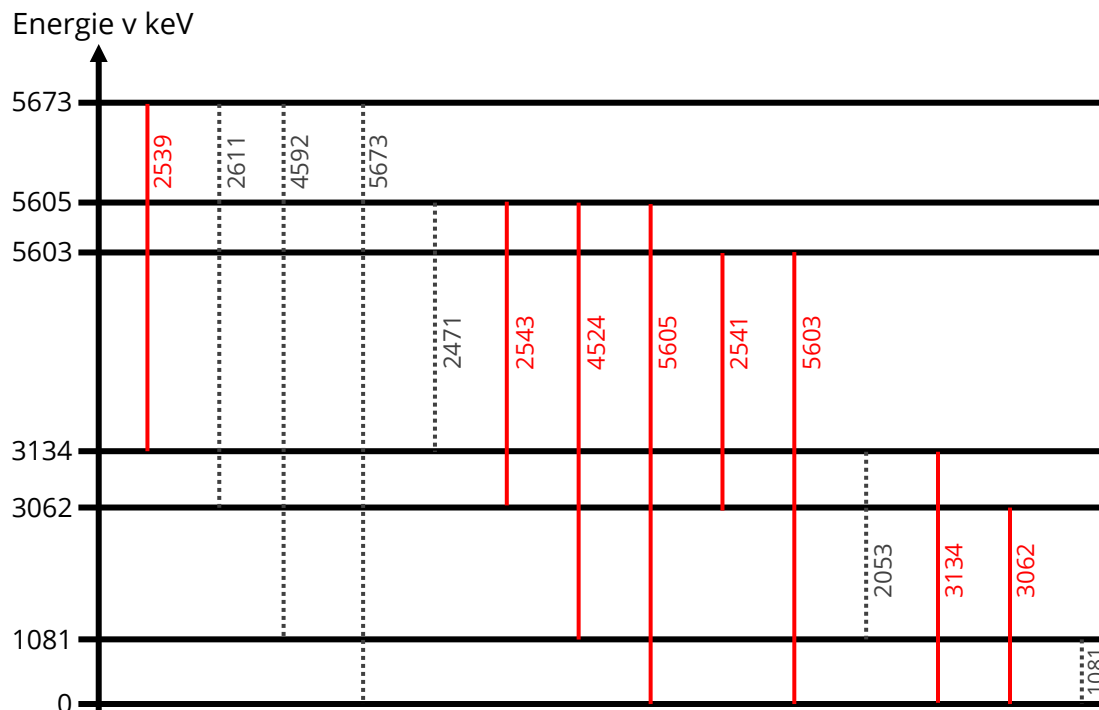
$$\sigma = \frac{N}{N_p \cdot p \cdot d} = \frac{\text{počet zaznamenaných událostí}}{\text{tok částic} \cdot \text{pravděpodobnost detekce} \cdot \text{hustota terče}}$$

Úkol 5 | Reakční rychlost

Nyní můžeme určit reakční rychlost zkoumané reakce, a to z **celkového účinného průřezu σ_T** . Reakční rychlost je silně závislá na teplotě. Za předpokladu, že reakce probíhá v nitru rudého obra během fáze heliového záblesku, můžeme očekávat teplotu mezi **0,1 a 1 GK**.

- Použijte nástroj pro analýzu dat (Data Analysis Tool) k výpočtu závislosti reakční rychlosti na teplotě. Jak je možné výsledky interpretovat?
- Jaká zjednodušení jsme potřebovali udělat pro analýzu dat? Kvantitativně diskutujte chyby měření našich výsledků a možné zdroje chyb.

Zjednodušený Grotrianův diagram pro Fluor-18



Vysvětlení experimentálních fyzikálních veličin

Počet projektilů

Počet projektilů N_p udává celkový počet částic **dopadajících na terč**. Každá částice vyvolá reakci detektoru jen s určitou pravděpodobností. Počet projektilů je různý pro každou sérii měření.

$$\begin{aligned} N_p(\text{Sada 1}) &= 4487212 \\ N_p(\text{Sada 2}) &= 4090363 \\ N_p(\text{Sada 3}) &= 4026908 \\ N_p(\text{Sada 4}) &= 4153129 \end{aligned}$$

Pravděpodobnost detekce

Pravděpodobnost detekce p nebo detekční funkce udává, jak vysoká je pravděpodobnost, že reakce, ke které dojde, je také **skutečně detekována**. Závisí na teplotě a proto je různá pro různé energetické hladiny.

$$\begin{aligned} p(5604 \text{ keV}) &= 8,2 \cdot 10^{-4} \\ p(4524 \text{ keV}) &= 8,7 \cdot 10^{-4} \\ p(3134 \text{ keV}) &= 9,8 \cdot 10^{-4} \\ p(3062 \text{ keV}) &= 9,9 \cdot 10^{-4} \\ p(2542 \text{ keV}) &= 1,0 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Hustota terče

Hustota terče d udává, kolik částic (atomových jader) se nachází na jednotce plochy terče. Hustota terče je stejná pro všechny série měření, jelikož ve všech případech byl použit tentýž terč.

$$d = 3 \cdot 10^{18} \frac{1}{\text{cm}^2}$$