

## Experimenty s demonstračním zdrojem záření DZZ GAMA 300 kBq

PETER ŽILAVÝ

Katedra didaktiky fyziky MFF UK Praha

Príspevek predstavuje nový demonstrační zdroj gama záření DZZ GAMA 300 kBq určený pro provádění efektních a průkazných demonstračních experimentů ve výuce fyziky. Zamýšlí se také nad otázkou detekce záření gama pomocí detektoru s Geiger-Müllerovou trubicí ze soupravy Gamabeta a také nad otázkou vlivu pozadí na interpretaci výsledků ze školních měření.

### Úvod

Podobně jako v jiných oblastech fyziky, je také ve výuce jaderné fyziky její důležitou součástí reálný fyzikální experiment. Na školách v ČR se pro přímou demonstraci elementárních jevů z oblasti jaderné fyziky (např. existence radioaktivního záření, jeho stínění různými materiály, některé vlastnosti záření beta a gama, základní způsoby ochrany před zářením atd.) již více než 15 let používá souprava Gamabeta nebo její novější verze GAMAbeta 2007. Klíčovou součástí těchto souprav jsou bezpečné zdroje záření gama, resp. beta.



Zdroj záření gama z původní soupravy Gamabeta i zdroj záření ŠZZ GAMA (Školní zdroj záření) z novější soupravy (viz např. [1], [2]) jsou osazeny zářičem obsahujícím radionuklid  $^{241}\text{Am}$ . Poločas přeměny tohoto radionuklidu je přibližně 432 let (aktivita zářiče tedy během 40-ti leté praxe učitele poklesne přibližně o 6 %). Samotný zářič, kterým je zdroj osazen, produkuje záření  $\gamma$  o energii 60 keV a záření  $\alpha$  o energii 5,44 MeV a 5,49 MeV. Výstupu záření

$\alpha$  ze ŠZZ GAMA je však zabráněno. Aktivita zářiče je asi 30 kBq, dochází v něm tedy přibližně k  $3 \cdot 10^5$  přeměnám za sekundu.

Používání zdrojů záření a jejich uvádění do oběhu upravuje v ČR zákon č. 18/1997 Sb. – tzv. Atomový zákon [3]. Dle §21 tohoto zákona, v případě tzv. *nevýznamného zdroje záření* (jakým je ŠZZ GAMA či zdroj z původní Gamabety) ani v případě tzv. *typově schváleného drobného zdroje záření* (kam patří nový, silnější Demonstrační zdroj záření DZZ GAMA 300 kBq popsáný dále), není potřeba k používání těchto zdrojů žádné povolení. Před začátkem používání *typově schváleného drobného zdroje záření* však musí ten, kdo jej bude používat, poslat ohlášení na příslušné regionální centrum SÚJB. Obvykle se tak děje za pomoci dodavatele zdroje.

## Kolik částic zachytí detektor z Gamabety?

Ze zkušenosti se soupravou Gamabeta víme, že ve vzdálenosti několik centimetrů od zdroje záření detektor zaznamená jednotky částic za sekundu. Jak to jde ale dohromady s výše uvedeným počtem přeměn v samotném zářiči?

Představme si pro jednoduchost (a pro vytvoření alespoň hrubého odhadu) samotný zářič jako bodový zdroj, který září do všech směrů prostoru stejně. Předpokládejme obvyklou konfiguraci, kdy do blízkosti zdroje záření umístíme detektor s Geiger-Müllerovou trubicí o průměru 9 mm a „aktivní délce“ asi 70 mm tak, že vzdálenost jejího středu od samotného zářiče je 40 mm. Pomocí určení příslušných úhlů a jednoduché integrace ve sférických souřadnicích lze ukázat, že trubice detektoru „zabírá“ jen asi 2,5 % celkového prostorového úhlu kolem zářiče. Na detektor tedy dopadá jen uvedené malé procento všech částic ze zářiče.

Ve skutečnosti představuje zářič spíše malý plošný zdroj (kruhový terčík o průměru 8 mm), který vysílá záření více „dopředu“ než „na stranu“ od osy zářiče (závislost počtu částic na úhlu od osy lze aproximovat funkcí kosínus, resp. parabolou – viz příklad měření s demonstračním zdrojem záření dále). Při správném nasměrování zářiče k detektoru je tedy počet částic dopadající na detektor (při stejné konfiguraci pokusu) o něco větší než odhad v předchozím odstavci. I tak ale lze očekávat, že na detektor dopadnou jen malé jednotky procent všech částic ze zářiče.



Další důležitou skutečností, kterou musíme brát v úvahu, je malá účinnost detekce  $\gamma$  záření GM trubicí. Tato účinnost závisí na energii záření a např. zdroj [4] ji udává pod 1 %. Více o detekci záření (nejen GM trubicí) se můžete dočíst také např. v [4].

Při obvyklém použití detektoru a školního zdroje záření ze soupravy Gamabeta tedy v důsledku fyzikálních principů detekujeme pouze řádově desetitisícinu částic vystupujících ze samotného zářiče zdroje záření. Při aktivitě zdroje 30 kBq tak zaznamenáváme ze zářiče pouze jednotky částic za sekundu.

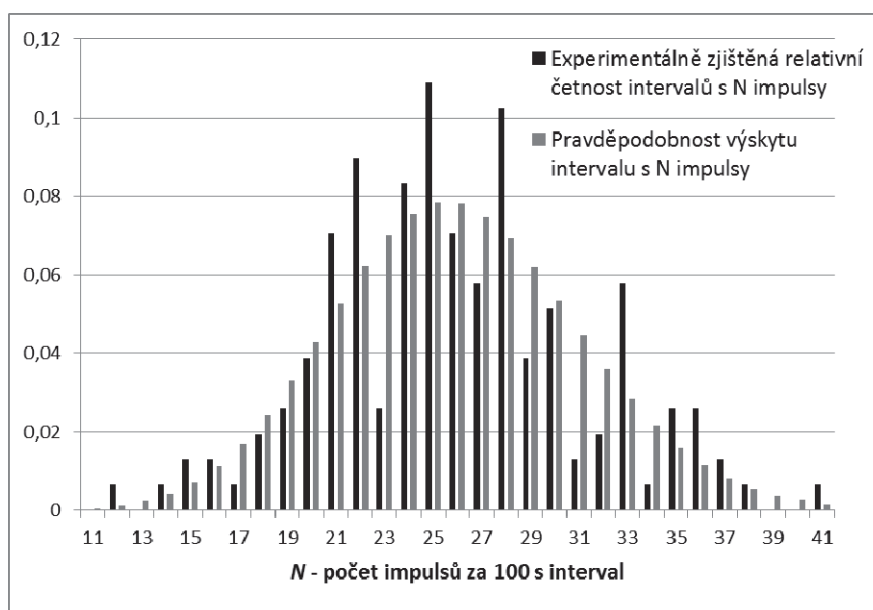
## Zrádné „odečítání pozadí“

Přírodní radioaktivita se liší podle místa, kde se nacházíme. Přispívá k ní jak záření „ze země“ – z hornin v dané oblasti, tak i kosmické záření. K celkové radioaktivitě pozadí někdy nezanedbatelně přispívá i radioaktivita stavebních materiálů budov.

Detektor ze soupravy Gamabeta obvykle registruje ve školních podmínkách bez přítomnosti zdroje záření průměrně 25 až 70 impulsů za 100 s (v závislosti na lokalitě).

Jelikož procesy v mikrosvětě (kterých důsledkem je také přírodní radioaktivita) mají pravděpodobnostní charakter, je i počet impulsů registrovaný detektorem náhodnou veličinou. Lze ji popsat (podrobnější vysvětlení a zdůvodnění viz např. v [4]) tzv. Poissonovým rozdělením.

Poissonovo rozdělení je charakterizováno jediným parametrem, a to střední hodnotou počtu impulsů za pevně zvolenou časovou jednotku. Na následujícím obrázku jsou světlými sloupci znázorněny pravděpodobnosti dané tímto rozdělením pro střední hodnotu 26 impulsů za 100 s (můžete zde porovnat tuto teoretickou předpověď s experimentálně naměřenými hodnotami znázorněnými tmavými sloupci<sup>6</sup>). Z obrázku je patrné například, že právě 26 impulsů za 100 s naměříme s pravděpodobností pouze 7,8 % a že s pravděpodobností téměř 30 % může být zjištěný počet impulsů za 100 s i mimo interval od 20 do 30 impulsů.



Z toho vyplývá, že hodnota úrovně pozadí, kterou stanovíme z jediného měření či průměrem z několika málo měření, se tak od skutečné střední hodnoty může výrazně lišit. Stejně tak se mohou lišit při opakovaném měření i počty impulsů z různých časových intervalů navzájem. Pokud tedy pracujeme při měření s malým počtem detekovaných částic (např. při proměřování závislosti počtu detekovaných částic na vzdálenosti od zdroje záření či stínění), má přirozený rozptyl naměřených hodnot pozadí velký vliv na interpretaci výsledků měření.

<sup>6</sup> Experimentálně zjištěné relativní četnosti při počtu 156-ti měření o délce 100 s se stejnou střední hodnotou jako při předchozím teoretickém výpočtu ukazují tmavé sloupce v obrázku. Toto měření lze velmi jednoduše na škole provést automaticky např. přes noc pomocí soupravy GAMAbeta 2007 – čítač propojíme s PC, nastavíme v obslužném programu dobu měření 100 s a označíme políčko „Opakovat“. Výsledky se zaznamenávají do souboru, který pak zpracujeme např. v Excelu. Lze využít i Vzdálenou školní laboratoř pro studium radioaktivity [5].

Stejně, jako tomu bylo u pozadí, je i počet částic pocházejících od zdroje záření registrovaných detektorem za dobu 100 s náhodnou veličinou, kterou lze také popsat Poissonovým rozdělením – v přítomnosti zdroje záření je tedy detektorem registrovaný počet částic za 100 s součtem dvou náhodných veličin.

Lze ukázat (podrobnější vysvětlení opět např. v [4]), že relativní chyba určení skutečné střední hodnoty  $\lambda$  počtu impulsů za zvolený časový interval pomocí jediného měření klesá jako  $\delta = 1/\sqrt{\lambda}$ . Při průměrně 25ti impulzech za 100 s se tedy relativní chyba pohybuje kolem 20 % (!), při průměrně 100 registrovaných impulzech za 100 s je to už „jen“ 10 %.

Abychom relativní chybu měření zmenšili, musíme pracovat s větší střední hodnotou počtu částic za zvolený časový interval – tedy použít buď delší časový interval, „účinnější“ detektor nebo silnější zdroj záření.

### Demonstrační zdroj záření DZZ Gama 300 kBq

Demonstrační zdroj DZZ GAMA 300 kBq je stejně jako školní zdroj ŠZZ Gama osazen zářičem s radionuklidem  $^{241}\text{Am}$  (připomeňme, že je zdrojem záření  $\gamma$  o energii



60 keV). Desetkrát větší aktivita zářiče – 300 kBq však nyní umožňuje i v krátkém čase, který je dostupný v hodině fyziky pro demonstrační experiment, prokazatelně ukázat například závislost počtu částic registrovaných detektorem za jednotku času na vzdálenosti od zdroje záření či na tloušťce a materiálu stínící bariéry apod.

Demonstrační zdroj záření je určen pouze do rukou učitele pro provádění demonstračních experimentů a doplňuje

tak dřívější školní zdroj záření ŠZZ GAMA s 10× menší aktivitou, který je součástí soupravy Gamabeta a který je určen i pro skupinové a laboratorní práce žáků a studentů.

Mechanická konstrukce DZZ Gama je stejná jako u školního zdroje záření ŠZZ Gama, je tedy při pokusech se soupravou Gamabeta či GAMAbeta 2007 plně zaměnitelný s původním zdrojem.

Na rozdíl do školního zdroje, je demonstrační zdroj záření DZZ GAMA klasifikován jako *drobný typově schválený zdroj ionizujícího záření* a jako takový podléhá dle § 21 Atomového zákona 18/1997 Sb. ohlašovací povinnosti před začátkem jeho používání. To znamená, že při předání zdroje škole je vyplněn ohlašovací formulář, který je následně odeslán distributorem (po domluvě se školou) na příslušné regionální centrum Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Žádná další ohlašovací povinnost ze zákona neplyne.