

Alfa spektrometrie scintilačním detektorem YAP

P. Solný

solnyp@kmlinux.fjfi.cvut.cz

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI), Břehová 7, 115 19 Praha 1.

Abstrakt

V rámci této práce jsem zkoumal vlastnosti scintilačního krystalu YAP (YAlO₄). Zkoumal jsem hlavně následující parametry:

- a) detekční účinnost
- b) spektrální rozlišovací schopnost pro energii 5,486MeV
- c) energetickou kalibraci pro částice alfa

Tyto parametry jsem mohl stanovit na analyzátoru MC 1256 pro etalon tj. plošný zdroj záření α ²⁴¹Am v laboratořích FJFI. Pro mnou naměřené hodnoty jsem stanovil při maximálním přiblížení etalon - detektor detekční účinnost (42,2%), spektrální rozlišovací schopnost (19,8%) a energetickou kalibraci α záření (uvedeno ve výsledcích). Pozoroval jsem i chování scintilátoru při měření skutečného vzorku radonu o vysoké aktivitě. Z tohoto měření vyplynula nutnost zkoumat nadále vlastnosti detektoru měřením skutečného radonu a porovnat jeho vlastnosti s ostatními detektory.

1 Úvod k práci

Tato práce byla inicializována už na jednom z Fyzikálních týdnů, kterého jsem se účastnil. Na základě příspěvku který se zabýval problematikou radonu a jeho vlivu na lidi, jsem se začal o radon zajímat. Z internetových zdrojů jsem zjistil, že v oblasti mého bydliště je zvýšený výskyt radonu a provádí se monitoring. Protože jsem se zároveň pokoušel vypracovat SOČ, spojil jsem svoje zájmy do jedné práce. Díky laskavému svolení vedení dozimetrie jsem se mohl zapojit do zkoumání nového scintilačního materiálu, krystalu YAP (YAlO₄) a podílet se tak na výzkumu. Provedl jsem vlastní měření, ta se dále používala na katedře dozimetrie a aplikace jonizujícího záření (KDAIZ) a byla používána pro další zkoumání krystalu YAP. V současnosti už se pracuje ve firmě EMPOS na fungujícím prototypu scintilačního detektoru.

2 Proč radon

Ve své podstatě největší dávku záření dostáváme ze vzduchu, ve kterém je přítomen radon. Ten tvoří takřka 70% veškeré dávky, kterou obdržíme z přírodních zdrojů záření. Abych byl přesný, nejedná se jen o samotný radon, který je součástí uranové přeměnové řady, ale především o jeho krátkodobé dceřiné produkty, vznikající jeho alfa nebo beta přeměnou. Z celkového podílu ozáření, tj. ozáření z umělých a z přírodních zdrojů v ČR, tvoří radon a jeho krátkodobé dceřiné produkty necelých 50%. Vzhledem k celkově vysokému příspěvku ozáření z radonu a jeho dceřiných produktů je tato problematika neustále živá a v ohrožených oblastech se musí dlouhodobě provádět monitoring.

2.1 Vlastnosti záření alfa a jeho vliv na buňky

Vnějšímu záření alfa je naše kůže dobře odolná, hlavně díky povrchové vrstvě odumřelých buněk zadržujících α záření, pokud k vám vůbec toto α záření doletí. Ve vzduchu má alfa částice dolet dle energie, kterou nese, to je něco málo kolem 4 cm, v tkáni či vodném roztoku to je v řádu mikrometrů.

Záření α je vysoko energetické záření složené z jader helia ${}^4_2\text{He}$. Vzniká hlavně přeměnou jader s vysokým nukleonovým číslem, jako je například polonium, radon, radium, uran a jiné. Podstatná vlastnost tohoto záření je, že v pevných látkách částice α rychle ztrácí energii, a tak se zastaví na velmi krátké dráze. Proto je pro jejich detekci nutné pokud možno minimalizovat vzdálenost od místa vzniku k detektoru. Důležité ze zdravotního hlediska je právě to, že se energie α částice předá na velmi malé vzdálenosti (ve tkáni řádově mikrometry). Proto se prakticky nemůže stát, že by byl člověk ozářen α zářením „zvenku“, protože částice α za normálních okolností (zdravá kůže bez mechanického poškození) neprojdou přes vrstvu odumřelých kožních buněk na povrchu našeho těla. Avšak v případě, kdy se dostane α zářič do plic, se toto záření stává nebezpečným.

2.2 Sledování radonu a jeho dceřiných produktů

Sledování radonu má velký význam jak z hlediska profesionální zátěže, např. horníci v uranových dolech, tak i z hlediska radiační ochrany v rámci národním i světovém. Dnes se sleduje hlavně objemová aktivita radonu a jeho dceřiných produktů v pitné vodě, v domech, v místech, kde je více lidí, a na pracovištích (převážně v dolech).

Dále monitoruje SÚRO (státní ústav radiační ochrany) v koordinaci s Místnímu úřady situaci v obydlích bez protiradonové izolace, ležících na podloží s vysokou aktivitou radonu. Naměřené hodnoty z těchto prostor jsou potom rozhodující při určování dalšího postupu.

Mezní normy pro aktivitu radonu v obydlí a na pracovištích jsou dány vyhláškou a můžete je nalézt na www.sujb.cz. V § 62 vyhlášky č 184/1997 Sb. jsou uvedeny hodnoty ozáření osob v důsledku výskytu radonu a produktů jeho přeměny ve vnitřním ovzduší staveb pro veličinu ekvivalentní objemová aktivita radonu. Vyhláška již byla novelizována tak, aby odpovídala směrnicím EU.

2.3 Současné měření aktivity radonu a jeho produktů přeměny

Dnes je možné setkat se s přístroji na měření objemové aktivity radonu relativně často. Na internetu je seznam řady firem zabývajících se měřením aktivity radonu a jeho dceřiných produktů. Běžně se používají tyto: scintilační komora nebo Lukasova komora, elektretové dozimetry, stopové dozimetry a polovodičové detektory.

Tyto měřicí přístroje jsou jedny z nejběžnějších, ale na celkové zjišťování objemové aktivity radonu se většinou používají různé jejich kombinace. Do terénu je samozřejmě obtížné brát velké množství velmi citlivé a křehké techniky. Proto se již delší dobu snaží několik firem, mezi nimi i firma CRYTUR a.s. o vyvinutí optimálního přístroje pro krátkodobá i dlouhodobější měření aktivity radonu s větší přesností a méně problémy s měřicí aparaturou.

3 Zjišťování vlastností scintilačního krystalu YAP

Studoval jsem vlastnosti krystalu YAP (YAlO_3 oxid ittrito hlinitý dopovaný Ce). Tento krystal je schopen pohlcovat vysoce energetické záření, v našem případě záření α . Vlivem fyzikálně chemických procesů v něm dochází k excitaci atomů a pozdějšímu vyzáření fotonu vlivem deexcitace.

3.1 Vlastní postup práce, použité vybavení

V této fázi bylo mým úkolem provést měření etalonu ${}^{241}\text{Am}$ o známé aktivitě 57,2 Bq pomocí scintilátoru YAP. Cílem měření bylo stanovit detekční účinnost, citlivost a chování scintilátoru. Pro měření jsem použil analyzátor MC 1256, určený pro zpracování signálu ze scintilačních jednotek. Analyzátor MC 1256 jsem použil jako klasický 256-ti kanálový analyzátor umožňující měřit diferenciální spektra radioaktivních preparátů a počet impulsů ve zvolených energetických oblastech.

Do měřicího objemu válce s posuvným dnem (lze hermeticky uzavřít) byl umístěn etalon, tomto případě certifikovaný zářič americium ^{241}Am o známé aktivitě s poločasem rozpadu 443 let a emisí α částic (viz kopie certifikátu v příloze). Pro měření byl na analyzátor MC 1256 napojen fotonásobič se scintilátorem YAP vyrobeným firmou CRYTUR (scintilátor – krystal tvaru válce) o tloušťce 0,025 cm a průměru 3,8 cm.

Při průchodu α záření prostředím scintilátoru se energie α částic předá atomům scintilátoru a ty po různých fyzikálně chemických procesech vyzáří foton. Foton s největší pravděpodobností vletí do fotonásobiče, který ho mnohokrát znásobí. Takto získané fotony jsou detekčním přístrojem (MC 1256) převedeny na elektrické impulsy. Elektrické impulsy jsou nosičem informace o energii α částic, podle síly impulsu se zapíše do určitého kanálu a po soustavném zapisování vznikají píky. Velikost píky je charakterizována počtem detekovaných α částic za dobu měření. Data jsou z přístroje převedena do počítače a jednoduše zpracovávána pomocí programu Excel.

Abych mohl provést charakteristiku scintilátoru, postupoval jsem následovně:

- I) Bylo potřeba změřit přirozené pozadí v komoře, proto jsem nejprve nechal přístroj s napojeným scintilátorem proměřit aktivitu pozadí ve válci, do kterého se poté umístil etalon (měření trvalo 1000s)
- II) Po stanovenou dobu 1000s jsem měřil pro jednotlivé vzdálenosti hodnoty energií zachyceného α záření (vzdálenosti jsou zapsány a naměřené hodnoty převedeny do počítače, kde se dále mohou zpracovat); protože byl k dispozici jen jeden etalon, různé energie částic alfa byly simulovány změnou vzdálenosti etalon – detektor.
- III) Pro jednotlivé naměřené hodnoty byl zhotoven graf a grafy pro různé vzdálenosti se porovny. Zde je potřeba říci, že pro různé vzdálenosti dostaneme různý počet zachycených α částic. Je to naprosto logické, protože se nejprve měřilo ve vzdálenosti kolem 6 cm, tj. za hranicí doletu α částic emitovaných americium. Postupným přibližováním zdroje α záření k scintilátoru se vzdálenost, kterou musí α částice urazit od zdroje k detektoru zkracuje až na úplné minimum (0,1cm).

Tímto postupem jsem po zpracování naměřených hodnot zjistil detekční účinnost detektoru a provedl energetickou kalibraci pro záření alfa.

4 Výsledky

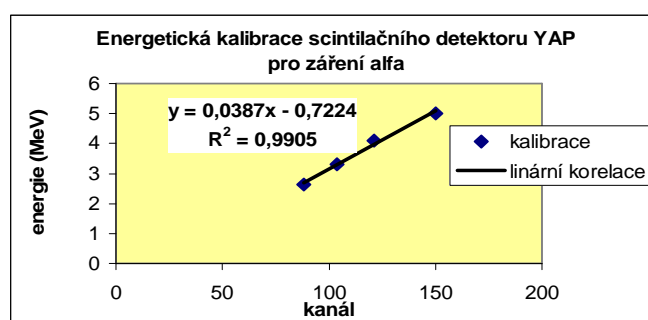
Pro použitý scintilační krystal jsem provedl energetickou kalibraci pro α částice o různých energiích viz. tabulka č.1. V tabulce je vypsáno, kterému kanálu odpovídá střed píky jehož pozice na ose x je určujícího pro energii α částic. Uvedené energie už jsou skutečné (je zde započítána ztráta energie po průchodu scintilátorem).

Energetická kalibrace alfa

Tab. 1: Energetická kalibrace alfa

vzdálenost [mm]	kanál	energie [MeV]
1	150	5,0146
5	121	4,1097
10	104	3,3018
15	88	2,6242

Graf 1: Energetická kalibrace alfa



Energetická rozlišovací schopnost

Energetická rozlišovací schopnost je schopnost detektoru rozlišit energie ležící blízko sebe. Počítá se z píku maximálního přiblížení zdroje částic alfa etalonu pro energii 5,486 MeV jako poměr šířky píku v polovině maxima k dané energii částic alfa. Použiji vzorec:

$$\text{FWHM} = (E_2 - E_1) / E * 100 [\%]$$

kde FWHM je šířka píku v polovině jeho maxima. Po dosažení hodnot dostáváme energetickou rozlišovací schopnost pro každou energii jinou. Uvedu energetickou rozlišovací schopnost scintilačního krystalu pro maximální přiblížení etalonu k detektoru, tedy pro maximální energii částic alfa, se kterou na detektor mohou dopadnout. Tato maximální energie, se kterou mohou alfa částice z etalonu do detektoru vniknout je 5,0146 MeV jak je uvedeno v tabulce č. 1. **Energetická rozlišovací schopnost vyšla: 19,8 %.**

Detekční účinnost

Detekční účinnost je schopnost detektoru zaregistrovat všechny částice, které na něj dopadnou ze zdroje (udává se v procentech). Počítá se z počtu impulzů zachycených detektorem za časovou jednotku. Aktivita použitého zdroje byla 57,2 Bq. K výpočtu jsme použili nejmenší dosažitelnou vzdálenost ²⁴¹Am (zdroje) od detektoru. Pro tuto vzdálenost vyšla **detekční účinnost 42,2 % pro geometrii 4π, resp. 84,4% pro geometrii 2π.**

5 Závěr

Měřením a prací v laboratoři jsem získal důležité výsledky pro další postup měření a zkoumání vlastností nového detektoru. Doufám, že do budoucna budou porovnány s několika dalšími typy detektorů v rámci spolupráce firmy CRYTUR Ltd. (výrobce scintilačních detektorů) s FJFI. Tato práce by měla především sloužit k prezentaci nové technologie určené k měření objemové aktivity Rn a jeho krátkodobých dceřiných produktů, která by mohla nahradit některé technologie stávající.

Měřením jsem dosáhl těchto výsledků:

Pro minimální vzdálenost etalonu od scintilačního krystalu vyšla hodnota pro **detekční účinnost 42,2%.**

Energetická rozlišovací schopnost pro tutéž vzdálenost **byla stanovena na 19,8 %.**

Provedl jsem také **energetickou kalibraci pro záření alfa.** Energetická kalibrace je dána vztahem $y[\text{MeV}] = 0,0387 x[\text{č kanálu}] - 0,7224.$

Ačkoli v zjištěné hodnoty detekční účinnosti a rozlišovací schopnosti vůči etalonu byly uspokojující, nadále se musí zkoumat chování a vlastnosti detektoru při měření skutečného radonu. Tento výzkum je prováděn firmou EMPOS a.s.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat své konzultantce RNDr. Lence Thinové, prof. ing. Tomáši Čechákovi, CSc, doc. ing Petru Habrmanovi CSc. Dík patří i organizátorům Fyzikálního týdne za inspiraci při hledání tématu práce. Dále děkuji všem, které jsem snad zapomenul uvést a měli by být uvedeni.

Reference

- [1] P. Klárová, *Radionuklidy radonu a snižování expoziční zátěže obyvatel*, 1996 Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, (Vedoucí dp. P. Habrman).
- [2] J. Jandl, I. Petr, *Ionizující záření v životním prostředí*, 1. vyd. Praha, STNL 1988
- [3] <http://www.suro.cz/cz/prirodni/uvod.html> 15. 3. 2005
- [4] <http://www.sweb.cz/AstroNuklFyzika/RadiacniOchrana.htm> 15. 3. 2005