Oponentský posudek

na disertační práci Ing. Pavla Novotného

Využití polovodičové spektrometrie beta ke stanovení radionuklidové čistoty zdrojů záření beta

předloženou na Katedře dozimetrie a aplikace ionizujícího záření FJFI ČVUT v Praze

Disertační práce se zabývá měřením a Monte Carlo simulacemi beta spekter s využitím křemíkového Si(Li) detektoru, používaného v laboratoři ČMI v Praze. Práce je zaměřena na vývoj metodiky pro kvalitativní a kvantitativní analýzu radionuklidových příměsí ve zdrojích čistých zářičů beta.

Hlavním cílem práce je sestavení optimalizovaného modelu Si(Li) detektoru pro Monte Carlo výpočty v prostředí MCNP a vytvoření rutinní metody pro identifikaci radionuklidových příměsí ve zdrojích tvořených čistými zářiči beta.

Práce je sepsána velmi precizně a přehledně a neobsahuje žádné faktické ani formální nedostatky. Hlavní text je doplněn řadou doplňujících poznámek a komentářů.

Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. V úvodu je popsána teorie přeměny beta včetně detailního vysvětlení Fermiho teorie a interakce částic beta s látkou. Rozsáhle jsou popsány metody spektrometrie beta pomocí polovodičových detektorů a zpracování signálu z detektoru. Okrajově jsou pro porovnání zmíněny také další metody spektrometrie záření beta pomocí magnetických spektrometrů, scintilačních detektorů a magnetických mikrokalorimetrů.

První podkapitola experimentální části práce se zabývá charakterizací Si(Li) detektoru a vytvořením modelu pro Monte Carlo simulace beta spekter. K sestavení modelu detektoru autor využil radiografické zobrazení pomocí defektoskopického filmu a pomocí detektoru Timepix. Model detektoru byl validován srovnáním experimentálních a simulovaných účinností v píku úplné absorpce pro vybrané zdroje záření X a gama v energetickém intervalu od 5 do 136 keV. Rozdíl mezi simulovanou a experimentální účinností nebyl větší než 6 %, což lze považovat za dobrou shodu.

Druhá podkapitola se zabývá měřením a simulacemi beta spekter. Pro eliminaci vlivu rozptýleného záření byl využit speciální kolimátor vyrobený ze slitiny hliníku. V podkapitole je popsána výroba vzorků záření beta metodou odpařování alikvotního množství vzorku na polyethylenovou podložku s využitím tzv. lisovátka, které zajišťuje přesnější vymezení prostoru vzniklého odparku.

V této podkapitole je dále popsána optimalizace MC modelu pro výpočty beta spekter – pro výpočet v MCNP byly upraveny parametry ESTEP, cell-by-cell energy cutoff a byl proveden biasing zdroje. Jsou porovnána naměřená a simulovaná spektra několika zdrojů záření beta. Ke stanovení shody spekter byl využit kromě vizuálního srovnání také statistický K-S test. V podkapitole je diskutováno experimentální určení koncového bodu beta spekter pomocí Fermiho–Kurieho diagramu.

Třetí podkapitola experimentální části práce se zabývá možnostmi zpřesnění popisu zdrojového členu v MC modelu. K získání prostorového rozložení odparku zdroje záření beta byla využita rentgen-fluorescenční analýza, která umožnila definovat reálné prostorové rozložení zdroje.

Poslední podkapitola experimentální části práce je věnována kvalitativnímu a kvantitativnímu stanovení jednotlivých radionuklidů emitujících záření beta ve směsích tvořených čistými zářiči beta s energií nad 1 MeV. Je zde diskutována metoda dvou oken a metoda odečítání spekter.

V rámci disertační práce se podařilo vytvořit optimalizovaný Monte Carlo model Si(Li) detektoru a vyvinout metodu pro stanovení poměru aktivit radionuklidů ve směsích čistých zdrojů beta, která je pro čisté zářiče beta s energií vyšší než 1 MeV aplikovatelná v laboratořích s běžným přístrojovým vybavením. Pro vzorky čistých zářičů beta s energií nižší než přibližně 500 keV je metoda limitována nedostatečnou opakovatelností zvoleného způsobu přípravy vzorků. Tento problém se podařilo eliminovat využitím rentgen-fluorescenční analýzy pro definici prostorové distribuce zdroje v daném vzorku čistého zářiče beta.

K práci mám následující doplňující dotazy:

1) Jakým způsobem byly stanoveny vnitřní rozměry detektoru přepočtem z rozměrů kryostatu (měření nebo využití programu pro zpracování obrázků)? Byla při stanovování pomocí defektoskopického filmu zohledněna také geometrie cílení svazku?
2) V práci je uvedeno, že byla upravena citlivá část detektoru zmenšením průměru o 0,1 mm a byl uvažován zadní kontakt detektoru o tloušťce 1 mm. Byla optimalizovaná také čelní mrtvá vrstva detektoru nebo byla použita hodnota 0,1 μm, kterou uvádí specifikace detektoru?
3) Kolimátor využitý při měření beta spekter byl vyroben účelně pro tuto práci nebo se jedná o kolimátor používaný v běžné praxi při měření beta spekter v laboratoři ČMI?
4) O kolik se přibližně snížila doba výpočtu při použití parametrů ESTEP, cell-by-cell energy cutoff a biasingu zdroje?
5) Pro stanovení příměsi ve směsi čistých zdrojů záření beta jsou zmíněny dvě metody – metoda dvou oken a metoda odečítání spekter. Která metoda je v běžné laboratorní praxi lépe aplikovatelná?
6) Jaká může být odhadem chyba metody stanovení příměsi čistého zářiče beta s energií menší než 1 MeV a s energií menší než 500 keV v případě, že není, resp. je uvažována optimalizace zdrojového členu pomocí rentgen-fluorescenční analýzy?

Zpracování disertační práce je na velmi vysoké úrovni. Všechny stanovené cíle disertační práce byly splněny. Autor prokázal široké odborné znalosti, které aplikoval v praxi. Práce odpovídá kvalitou, rozsahem i zpracováním požadavkům kladeným na disertační práce. Autor publikoval výsledky své práce v zahraničním odborném časopise, čímž je bezpochyby potvrzena aktuálnost tématu a odbornost předložené práce.

Na základě výše uvedeného předloženou disertační práci **doporučuji k obhajobě**.

V Praze dne 23.6.2021

Ing. Karin Fantínová, Ph.D.