

prof. Ing. Marcel Miglierini, DrSc.
Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3
812 19 Bratislava

Posudok oponenta na dizertačnú prácu

Mgr. Jan Kočiščák: *Aplikace práškových scintilačních materiálů v Mössbauerově spektroskopii*

O vypracovanie oponentského posudku som bol požiadaný dekanom Prírodovedeckej fakulty Univerzity Palackého v Olomouci listom zo dňa 6.4.2023.

Predložená dizertačná práca sa venuje aplikáciám práškových scintilačných materiálov typu YAP:Ce a CeBr₃ na detekciu žiarenia v Mössbauerovej spektroskopii. Popisuje postup ich prípravy spolu s podrobnou charakterizáciou. Spomínané scintilátory boli použité na konštrukciu semitransparentných detektorov vhodných pre merania v energetickej no aj v časovej doméne.

Oponentský posudok je rozdelný do nasledovných častí:

(a) Aktuálnosť problematiky:

Skúmaná téma, t.j. príprava nových typov scintilačných detektorov pre použitie najmä v oblasti Mössbauerovej spektroskopie, je vysoko aktuálna nielen kvôli základným fyzikálnym javom, ktoré je potrebné dôkladne pochopiť, ale čo je možno ešte dôležitejšie, kvôli svojim sociálno-ekonomickým aspektom. Príprava nových materiálov s lepšími úžitkovými parametrami a možnosťami ich prispôsobenia konkrétnym potrebám môže výrazne prispieť k rozvoju v tejto oblasti výskumu. Z tohto hľadiska je téma práce vysoko aktuálna a reflektuje súčasné požiadavky na materiály a z nich vyrobené detektory s vylepšenými vlastnosťami.

(b) Metódy skúmania zvolené na naplnenie stanovených cieľov:

Metódy, ktoré autor zvolil na dosiahnutie stanovených cieľov práce, považujem za vhodné. Dizertačná práca sa zaoberá detekciou rádioaktívneho žiarenia v Mössbauerovej spektroskopii pomocou práškových scintilačných materiálov YAP:Ce a CeBr₃, ktoré doteraz v tejto spektroskopii neboli využité. Najskôr sa venuje teoretickému rozboru Mössbauerovho javu a možnostiam jeho experimentálneho pozorovania. Dôraz je kladený na špeciálny prípad tzv. rezonančnej Mössbauerovej spektroskopie. Ďalej je diskutovaná problematika scintilačných materiálov, ich príprava a charakterizácia. Práca vrcholí experimentálnymi výsledkami prípravy nového typu detektora využívajúceho práškový scintilačný materiál.

(c) Splnenie cieľov dizertačnej práce:

V práci som vyjadrenie jej cieľov našiel iba v kapitole Úvod formou jednej vety na str. 8, 11. riadok zhora. Formulácia cieľov práce by si však zaslúžila samostatnú, hoci aj krátku, kapitolu. Bez nej je totiž náročné konkretizovať ich plnenie, keďže nie sú k dispozícii jednotlivé body zadania práce. Nakoľko však spomínaná veta obsahuje všeobecné vyjadrenie cieľov

dizertačnej práce, dá sa považovať za ich vyjadrenie. Následne je potom možné konštatovať, že ciele dizertačnej práce boli splnené.

(d) Získané výsledky poukazujúce na nové získané poznatky:

Za najdôležitejší výsledok dizertačnej práce pokladám návrh nových spôsobov prípravy práškových scintilátorov ako aj realizáciu a následnú charakterizáciu vybraných spektrálnych parametrov z nich vyrobených detektorov. Nemenej dôležitým výsledkom je návrh a realizácia tzv. semitransparentného detektora, ktorý umožňuje detekciu v časovej doméne, no zároveň ponecháva časť pôvodného zväzku fotónov pre ďalšie experimenty. Tým vytvára predpoklady pre štúdium fyzikálnych fenoménov kvantovej povahy žiarenia. Získané poznatky vyústili do vývoja tzv. semitransparentného rezonančného detektora, ktorý využíva samotný princíp Mössbauerovho javu na charakterizáciu bezodrazových jadrových rezonančných fotónov s bezprecedentným energetickým rozlíšením. Použitie rezonančných detektorov je v literatúre popisované len ojedinele, a preto možno tento výsledok dizertačnej práce považovať za novátorský a konštrukciu semitransparentného detektora za originálnu.

(e) Príspevok k ďalšiemu rozvoju vedy:

Spracovaná téma dizertačnej práce má potenciál pre rozvoj nových myšlienok ako aj experimentálnych prístupov a ďalšieho teoretického štúdia hlavne v oblasti jadrovej kvantovej optiky. Boli získané nové skúsenosti s výrobou detektorov jadrového žiarenia na bázi práškových scintilačných materiálov. Takýto prístup je ojedinelý a pôvodný, o čom svedčia aj priložené publikácie autora dizertačnej práce. Uvedené články prezentujú výsledky dosiahnuté počas riešenia témy dizertačnej práce a nedávno vyšli tlačou v renomovanom vedeckom časopise, ktorý je indexovaný v Q1.

(f) Formálna stránka spracovania dizertačnej práce:

Dizertačná práca pozostáva z 87 strán a troch príloh, čo sú články autora dizertácie. Obsahuje 83 odkazov na literárne zdroje, z ktorých je však len 23 z ostatných 10 rokov a 6 internetových odkazov. Dva literárne zdroje sú prakticky nedostupné ([1], [21]), pričom ten druhý je odkaz na bakalársku prácu, čo nepovažujem za vhodné. Dizertačná práca je napísaná kultivovaným českým jazykom, hoci v troch prípadoch sa vyskytli lexikálne nezrovnalosti. Dve sú spôsobené redundanciou slova „je“ vo vetách, ktoré je možné nájsť na str. 25 pred popisom rovnice (11) a na str. 53, 6. riadok zdola, tretia nadbytočnosťou slova „se“ na str. 59, 1. riadok zhora. Vo viacerých vetách chýbajú čiarky, ktoré by mali oddeľovať vložené alebo vedľajšie vety (napríklad aj vo vetách na str. 25, resp. str. 53 spomínaných vyššie). Tieto drobné nedostatky je ľahko možno prehliadnuť a uvádzam ich len preto, aby som ukázal, že som sa s prácou dôsledne a starostlivo oboznámil.

K práci mám ďalšie formálne pripomienky:

1. Z popisu fyzikálneho princípu Mössbauerovho javu na str. 8, 1. riadok zhora alebo na str. 10, 5. riadok zhora vypadlo slovíčko „jadrovej“, čo je obzvlášť v prípade tohto fenoménu závažný nedostatok.
2. Keďže predložená dizertačná práca sa venuje detektorom žiarenia, zdá sa mi vyjadrenie ohľadom plynovej náplne proporcionálnych detektorov tak, ako je uvedené na str. 12, 1. riadok zdola, nedostatočné. Chýba totiž zmienka o dôležitej súčasti plynovej náplne.
3. Podobne sa medzi polovodičovými detektormi pozabudlo na HPGe detektory, ktoré dnes prakticky nahradili v práci uvádzané Si(Li) či Ge(Li) detektory (viď. podkapitola 1.3.2 na str. 13) spomínané v odvolávkach na literárne zdroje spred takmer 50 (!) či „len“ 30 rokov.
4. Namiesto cudzojazyčne znejúceho výrazu „nonproporcionalita“ (zavedený v podkapitole 2.4.2 od str. 26) by som si vedel predstaviť vhodnejší tvar tohto slova, napr.

- „neproporcionalita“ prípadne „nelinearita“. V druhom riadku tohto odstavca zrejme chýba slovo „záření“ po slove „primárního“.
5. Na str. 27 je uvedený výraz „pile-up efekt“, ktorý je však bez ďalšieho objasnenia pre bežného čitateľa pravdepodobne nezrozumiteľný.
 6. Nazdávam sa, že deklarovaná hrúbka 0.5 mm scintilačného kryštálu typu NaI(Tl) (str. 32, 2. riadok zdola) je pre použitie v Mössbauerovej spektroskopii príliš veľká na detekciu 14 keV fotónov.
 7. Mám za to, že v legende k modrému priebehu na obr. 13 na str. 41 dole by bolo treba vynechať slovo „zářičem“.
 8. V podkapitole 6.1 na str. 61, 8. riadok zhora je pravdepodobne preklep. Namiesto slova „scintilátor“ by som očakával slovné spojenie „lepící pásku“.
 9. V texte na str. 77 sú uvedené odvolávky na obr. 40 a obr. 39, no s nesprávnym poradím ich (požadovaného) sekvenčného číslovania.
 10. Na osi y pri vykresľovaní Mössbauerových spektier (napr. na obr. 36 na str. 74) by bolo vhodné uvádzať hodnoty tzv. efektu a nie absolútne počty detekcií. Tým je možné dosiahnuť vzájomné porovnanie spektier získaných eventuálne aj z rozdielnych experimentov (napr. na obr. 38 na str. 76).

(g) Otázky k obsahovej stránke dizertačnej práce:

1. Od čoho závisí šírka spektrálnej čiary, keď sa od žiariča požaduje čo najužšia (str. 11, 4. riadok zhora)? Sú nejaké fyzikálne obmedzenia šírky čiary, pod ktoré sa nedá ísť?
2. S ohľadom na techniku CXMS je možné zaradiť charakteristické rtg. žiarenie s energiou ~6.5 keV medzi „parazitné“ fotóny ako je uvedené v tabuľke na Obr. 1b na str. 11?
3. Aká je informačná hĺbka z povrchu hrubých vzoriek, ak sa v geometrii spätného rozptylu detekujú konverzné fotóny (vid'. str. 17, 1. riadok zdola)?
4. Dizertačná práca sa venuje hlavne anorganickým scintilačným materiálom a mechanizmus vzniku scintilácií v nich je popísaný v podkapitole 2.1. Existuje aj iná trieda scintilačných materiálov, ktorá sa využíva na detekciu ionizujúceho žiarenia a aké mechanizmy vzniku scintilácií sa tam uplatňujú?
5. Na konci podkapitoly 2.4.2 autor konštatuje, že „Pokud je mi známo, dosud nejsou známy žádné teorie popisující nonproporcionalitu scintilátorů.“. Nie je však fenomén energetickej nelinearity scintilátorov dôsledkom energetickej účinnosti detektora, ktorá je pre všetky typy detektorov vysoko nelineárna?
6. Môžete bližšie objasniť výraz „temné detekce detektoru“, ktorý je uvedený na str. 35, 2. riadok zhora?
7. Na str. 49, 5. riadok zdola je konštatované, že po odstránení vytvrdenej epoxidovej živice zostane k dispozícii scintilačný kryštál o vhodnej hrúbke. Zaujímalo by ma, či sa nejako prejavil jav kapilárnej elevácie pri zalievaní formy živicom, resp. ako vyzerali finálne okraje kryštálu? Bol vyrobený kryštál charakterizovaný svojimi priečnymi rozmermi z hľadiska homogenity jeho hrúbky?
8. Aká dlhá bola „rovnaká doba merania“ spomínaná na str. 50, 2. riadok zdola?
9. Čo tvorilo náplň samotného upraveného svetlovodu (str. 54, 8. riadok zdola)? Neskúšali ste použiť ako materiál svetlovodu plexisklo? (Porovnaj tiež pokles SNR_{norm} na obr. 23 pri vzdialenostiach scintilátor-fotonásobič vyššej ako 1 cm, ktorý je pripisovaný vzduchovej medzere.)
10. Boli pri meraniach svetelného zisku na obr. 23 monitorované aj rozptylové magnetické polia, resp. pri akej hodnote B_{ext} boli uvedené merania vykonané?
11. Aká energia emitovaného žiarenia, ktoré sa rozptylovalo na detektore A (str. 58, 6. riadok zdola), bola uvažovaná? Podľa obr. 26 by to malo byť 122 keV, čo je však pre sledovanie Mössbauerovho javu menej vhodné ako 14 keV.

12. Nie je doba použiteľnosti scintilátoru CEBR s ochranným krytom (14-28 dní na str. 70, 2. riadok zhora) krátka pre použitie v Mössbauerovej spektroskopii, kde niektoré experimenty môžu trvať aj pár dní? Na druhej strane jeho zabudovanie do rukavicového boxu a prevádzkovanie v ňom je dosť náročné, nehovoriac o dodatočných finančných nákladoch. S uvažovaním týchto okolností teda vyvstáva otázka aké sú celkové výhody používania takýchto detektorov menovite v Mössbauerovej spektroskopii v porovnaní s konvenčnými?
13. Šírky čiary Mössbauerových spektier pri použití semitrparentného rezonančného detektora (SRD) uvedené na str. 73 (0.31 mm/s), str. 76 (0.42 mm/s, resp. 0.43 mm/s pre NaI(Tl)) či na str. 79 (0.28 mm/s, resp. 0.52 mm/s pre NaI(Tl)) sú dosť vysoké. Ako píše autor na str. 79, 6. riadok zdola je ich objasnenie nad rámec predloženej práce. Cez to všetko by ma zaujímalo, aký má autor názor na rutinné používanie popisovaných SRD s uvažovaním týchto nedostatkov (viď. tiež otázku č. 12)?
14. Aké sú časové priebehy rýchlostí transducerov, na ktorých sú uchytené SRD, resp. žiarič v rezonančnom zapojení na obr. 38 na str. 76?
15. V práci je na viacerých miestach spomínaná možnosť použitia semitrparentných detektorov pri štúdiu kvantovej povahy žiarenia, napr. javu tzv. kvantového previazania. Zaujímalo by ma, či boli autorom realizované alebo aspoň navrhnuté experimenty, ktoré by tento zámer podporili?

Záverom konštatujem, že predložená dizertačná práca Mgr. Jana Kočiščáka obsahuje celý rad výsledkov, ktoré sa uplatnia pri rozvoji metódy Mössbauerovej spektroskopie ako aj pri štúdiu ďalších fyzikálnych fenoménov. Mám za to, že, deklarované ciele dizertačnej práce boli v plnom rozsahu splnené. Prácu odporúčam k obhajobe a po jej úspešnom završení navrhujem udeliť uchádzačovi titul philosophiae doctor (PhD) v odbore Aplikovaná fyzika.

V Bratislave, 9.5.2023



prof. Ing. Marcel Miglierini, DrSc.