

Dr hab. Radosław Zaleski
Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
pl. M. Curie-Skłodowskiej 1
20-031 Lublin

Lublin 27.02.2018

**Recenzja pracy doktorskiej mgra Łukasza Kapłona pt.
„Synthesis and characterization of polystyrene scintillators
and their application in positron emission tomography”**

Tematyka pracy doktorskiej mgra Łukasza Kapłona dotyczy scyntylatorów plastikowych przeznaczonych do użycia w nowym typie skanera pozytonowej tomografii emisyjnej opracowywanym na Uniwersytecie Jagiellońskim (J-PET). We wstępie autor opisuje swoje cele i motywację oraz strukturę pracy. Jednak zanim zostanie podana teza pracy, przedstawione są informacje o scyntylatorach standardowo używanych w skanerach PET i idei ich zastąpienia przez scyntylatory plastikowe. Następnie czytelnik ma możliwość zapoznania się z obecnym stanem wiedzy o scyntylatorach plastikowych i metodach ich produkcji. Taka struktura pracy pozwala poznać multidyscyplinarny (zasada działania PET oraz technologia wytwarzania scyntylatorów) kontekst tezy postawionej przez autora. Zakłada ona, że scyntylatory wytworzone w wyniku zaproponowanej metody syntezy będą miały własności odpowiednie do ich wykorzystania w J-PET.

Część badawczo-rozwojowa pracy składa się z dwu powiązanych ze sobą, lecz stosunkowo odrębnych fragmentów. Pierwszy z nich dotyczy opracowania i optymalizacji przebiegu syntezy scyntylatorów polistyrenowych. Są one wytwarzane w dwu postaciach: cylindrów, które wykorzystane będą do badań własności uzyskanego materiału oraz płyt, z których wykonane zostaną scyntylatory o kształcie wymaganym w tomografii, tj. długich prostopadłościanów. Trudności w uzyskaniu odpowiedniej jakości scyntylatorów o dużych rozmiarach sprawiają, że opracowana procedura różni się znacznie w obydwu przypadkach (np. prepolimeryzacją roztworu do przygotowania płyt). Wybrano również najbardziej obiecujące rodzaje i koncentracje domieszek, które mają prowadzić do najlepszych optycznych własności polimerów. Optymalizacja syntezy polega na doborze takiego przebiegu temperatury podczas polimeryzacji, który pozwala uzyskać materiał o najmniejszej liczbie defektów strukturalnych (pęknięć oraz pęcherzyków).

Druga, bardziej rozbudowana, część pracy opisuje badania własności scyntylatorów. Podzielono ją na trzy części.

1. Przedstawiono wyniki badania materiału za pomocą standardowych technik, jakimi są kalorymetria różnicowa (DSC) oraz dyfrakcja rentgenowska (XRD).

2. W celu zwiększenia efektywności określania przydatności setek scyntylatorów wymaganych do budowy pojedynczego tomografu zaproponowano szybkie i wydajne metody kontroli jakości scyntylatorów, takie jak:
 - weryfikacja rozmiarów,
 - ocena wizualna w świetle ultrafioletowym (UV),
 - badanie jednorodności optycznej w świetle UV oraz przy wykorzystaniu źródła promieniotwórczego.
3. Własności optyczne scyntylatorów o różnym składzie określono na podstawie serii badań:
 - długości tłumienia światła o różnych długościach fali,
 - maksimum emisji domieszek fluorescencyjnych,
 - wydajności świetlnej,
 - czasu wyświecania scyntylatora.

Zarówno kontrola jakości jak i badanie długości tłumienia nie ograniczają się jedynie do wytworzonego materiału, lecz obejmują również komercyjnie zakupione scyntylatory.

Praca kończy się krótkim podsumowaniem przypominającym cel pracy, osiągnięte postępy oraz najważniejsze uzyskane wyniki. Autorowi zabrakło nieco zdecydowania aby wskazać na jeden konkretny skład scyntylatora, który jest najlepszy do zastosowania w J-PET. Mógłby to być scyntylator, którego kluczowy parametr (np. długość emitowanego impulsu światła lub tłumienność) jest najlepszy albo kompromis pozwalający uzyskać dobre wartości kilku parametrów.

Praca doktorska mgra Łukasza Kapłona liczy 109 stron, które poza tekstem zawierają 62 ilustracje, 15 tabel i 185 odsyłaczy do literatury, co sprawia, że jej treść jest raczej zwięzła. Napisana została w języku angielskim i poza drobnymi usterkami (głównie rodzajniki) język jest wystarczająco poprawny aby nie było problemów w zrozumieniu treści. Organizacja pracy jest klarowna a jej podział na rozdziały – logiczny. Wyjątkiem są podrozdziały 2.2 i 2.3, które wydają się nie pasować do tytułu rozdziału 2 i prawdopodobnie czytelność pracy zyskałaby nieco na ich wydzieleniu do osobnego rozdziału dotyczącego PET, a w szczególności scyntylatorów stosowanych w tej technice diagnostycznej. Pewne kontrowersje budzi we mnie przeplatanie opisu zasady wykonania eksperymentu i układu pomiarowego z wynikami. Jednak w przypadku licznych i różnorodnych metod badawczych zastosowanych w pracy może to być uzasadnione wygodą czytelnika, który dzięki temu nie musi sięgać do wcześniejszego tekstu. Nieco mylący jest tytuł pracy, gdyż nie przedstawia ona wyników zastosowania scyntylatorów w tomografii, a jedynie krótko opisuje w rozdziale 2.3 ideę wykorzystania scyntylatorów plastikowych w skanerze PET oraz zawiera lakoniczne odwołanie do patentu w ostatnim akapicie pracy. Lepsze byłoby sformułowanie „...scintillators **for** application in...”.

Niewątpliwą zaletą pracy jest kompleksowe przedstawienie tematyki scyntylatorów plastikowych. Rozpoczyna się ono od dogłębnego przeglądu literatury poczynając od lat 50-tych XX w. aż po najnowsze badania, przy czym sięgnięto zarówno po artykuły w czasopiśmie, pozycje książkowe, katalogi, jak i materiały dostępne w Internecie. Świadczy to o umiejętności korzystania przez autora z różnorodnych źródeł. Zasada działania

Reda

scyntylicatora opisana jest jasno i wyczerpująco. Tabele 3-7 zawierają kompendium wiedzy o najpopularniejszych scyntylicatorach i stosowanych w nich domieszkach. Także wpływ koncentracji domieszki na własności scyntylicacyjne materiału nie pozostawia wątpliwości. Metody syntezy scyntylicatorów opisane są ze szczegółowością odpowiednią dla ich zrozumienia.

Zaprezentowane metody badania własności uzyskanego materiału są wszechstronne, a poprawność większości ich wyników nie budzi wątpliwości. Wyjątkiem jest tu pomiar długości tłumienia światła, jednak w tym przypadku autor wyciąga istotne wnioski dotyczące przyczyn rozbieżności różnych pomiarów, które wskazują na konieczność standaryzowania i precyzyjnej kontroli warunków pomiarów. Innym interesującym i ważnym wnioskiem jest stwierdzenie, że czas wyświecania scyntylicatorów dwuskładnikowych jest mniejszy niż trzyskładnikowych. Badania jasno wykazują, że cele postawione przez autora zostały spełnione i udało się uzyskać scyntylicatory do zastosowania w J-PET o własnościach optycznych porównywalnych do komercyjnie dostępnych polimerów. Można przypuszczać, że pozwoli to na znaczne obniżenie kosztów ich pozyskania w stosunku do cen rynkowych.

Metody szybkiej i prostej oceny jakości scyntylicatorów opracowane przez autora wydają się niezwykle cenne z punktu widzenia konstrukcji J-PET. Ich zastosowanie w procesie produkcyjnym scyntylicatorów do dowolnych celów jest również pożądane, na co wskazuje znaczna ilość wadliwych scyntylicatorów dostarczonych przez Saint-Gobain Crystals.

Natomiast niedosyt budzi opis optymalizacji przebiegu temperatury podczas syntezy scyntylicatorów. Interesujące byłoby przedstawienie rezultatów syntezy (mniej udanych) dla innych przebiegów temperaturowych (np. w dodatku). Pozwoliłoby to czytelnikowi lepiej zrozumieć przebieg poszczególnych etapów syntezy. W pracach doktorskich można z reguły znaleźć szczegóły i dane, których nie prezentuje się zazwyczaj w pracach publikowanych w czasopiśmie. Czyni je to niezwykle cennymi źródłami informacji dla czytelnika. Dodanie informacji o przebiegu i metodyce optymalizacji nie spowodowałoby przeładowania pracy. Podobne wrażenie można odnieść czytając wyniki uzyskane z pomiaru długości tłumienia światła, gdzie nie podano uzyskanych parametrów dopasowania, które mogą nieść istotne informacje o mechanizmach działania scyntylicatora, jednak w tym przypadku ograniczonej wiarygodności wyników można uznać to za uzasadnione.

Pewne niedociągnięcia można znaleźć w opisie DSC, który wydaje się zbyt lakoniczny, a przez to trudny w odbiorze. Utrudnia go również odwrócona skala na rys. 25 w stosunku do pozostałych rysunków. Bardziej szczegółowa interpretacja wyników DSC mogłaby dostarczyć dodatkowe informacje, jak np. oszacowanie masy cząsteczkowej polimerów. Podobnie opis metody badania jednorodności optycznej przy wykorzystaniu źródła promieniotwórczego bez informacji o wykorzystaniu koincydencji 511-511 keV zrozumiały jest jedynie dla specjalistów. Również w opisie pomiarów widm emisyjnych trudno doszukać się informacji dlaczego użyto dwóch różnych układów pomiarowych.

Tekst pracy pozwala odnieść wrażenie, że autor posiada nieco mniejszą znajomość technik badawczych związanych z promieniowaniem jądrowym oraz pozytonami w stosunku do

inżynierii materiałowej, np.: „positron annihilation lifetime spectroscopy” została nazwana błędnie „positron emission lifetime spectroscopy” na str. 12, pominięto wydajność absorpcji promieniowania w pożądanym własnościach scyntylatorów na str. 14 i 20 lub całkowicie odrzucono znaczenie amplitudy sygnałów (energii pozostawionej w scyntylatorze przez fotony gamma) w J-PET na str. 18 i w tabeli. 2.

Dwa fragmenty pracy wydają się być nie na miejscu lub są niedokończone. Nie jest jasne w jakim celu pojawiają się w pracy wzmianki dotyczące scyntylatora z poliwinylotoluenu (synteza cylindrów i badania DSC). Również opis testów elementów „wavelength shifter” nie jest poprzedzony wyjaśnieniem czym one są.

W równaniu 1 moduły sprawiają wrażenie zbędnych lub niewłaściwie umieszczonych, gdyż sygnał z woltomierza powinien być zawsze tego samego znaku przy oświetlaniu fotodiody. Być może powinny one być umieszczone wokół różnic, np. $|V_L - V_R|$. Ponadto budzi wątpliwości opis impulsów na wyjściu fotodiody (str.64). Przy oświetleniu o stałym natężeniu również sygnał elektryczny powinien być niezmienny w czasie.

W pracy występują również drobne błędy edycyjne polegające na:

- wprowadzaniu skrótów przed ich objaśnieniem lub wielokrotne ich objaśnianie na tej samej stronie, np. str. 23, 27 i 70,
- brak opisu części rys. 17a,
- powtórzeniach tekstu , np. str. 49, 54.

Podsumowując, mocne strony pracy to:

- przekonujące potwierdzenie osiągnięcia zakładanego celu,
- opracowanie nowych, efektywnych metod kontroli jakości scyntylatorów,
- jasny i wyczerpujący opis stanu wiedzy o scyntylatorach,
- zastosowanie szerokiej gamy różnorodnych metod badawczych,
- bogata lista odnośników do literatury.

Za niedostatki można uznać:

- budzące pewien niedosyt przedstawienie wyników badań i opisów doświadczeń,
- miejscami chaotyczna organizacja tekstu pracy, która prowadzi do powtórzeń lub fragmentów niejasno powiązanych z tematem pracy.

Jednakże powyższe uwagi krytyczne nie są na tyle istotne aby znacząco zmniejszyć walory poznawcze pracy. Dlatego też stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska mgra Łukasza Kapłona spełnia wymagania stawiane pracom na stopień naukowy doktora nauk technicznych zgodnie z „Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 1 października 2011 r. Zwracam się zatem do Rady Naukowej Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie o dopuszczenie mgra Łukasza Kapłona do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Radosław Zaluski