

prof. dr hab. inż. **Tomasz Szumlak**
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH
szumlak@agh.edu.pl

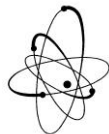
13.06.2024, Kraków

Recenzja osiągnięcia naukowego przygotowanego przez dr inż. Martynę Grodzicką-Kobyłkę pt.: „Charakterystyka własności fotopowielaczy krzemowych w kontekście ich zastosowania do odczytu światła z materiałów scyntylacyjnych w spektrometrii γ oraz detekcji neutronów w fizyce eksperymentalnej, medycynie nuklearnej i bezpieczeństwie granic”
przedstawionego w postępowaniu habilitacyjnym

Wniosek oraz sylwetka habilitantki w tym jego kariera naukowa

Dr inż. Martyna Grodzicka-Kobyłka, Kandydatka do stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplinie nauki fizyczne, uzyskała tytuł zawodowy magistra fizyki medycznej w 2009 r. na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (tytuł pracy „Rozpoznawanie wybranych mówców na podstawie głosu i treści mowy”, pod kierunkiem dr. hab. inż. Wiesława Wszołka). Stopień naukowy doktora nauk fizycznych Habilitantka uzyskała w 2014 r. w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (tytuł rozprawy doktorskiej „Study of silicon photomultipliers in gamma spectroscopy with scintillators”, pod kierunkiem prof. dr. hab. Marka Moszyńskiego).

Po uzyskaniu doktoratu Habilitantka podjęła pracę w 2014 r. jako adiunkt badawczy w Narodowym Centrum Badań Jądrowych. W trakcie swojej pracy badawczej Autorka wniosku odbyła szereg krótkich wyjazdów badawczych do cenionych ośrodków międzynarodowych, takich jak Fondazione Bruno Kessler (FBK) – Trento czy instytuty INFN- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare w Bari i Catanii. Wyjazdy te, jak wynika z opisu w autoreferacie, trwały poniżej miesiąca, niemniej jednak każdy z nich był intensywnym okresem badawczym, który przyniósł kilka znaczących publikacji. Habilitantka posiada bogate doświadczenie jako członek zespołów



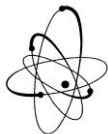
badawczych wykonujących projekty grantowe (w sześciu projektach) wykazując znaczną aktywność zarówno przed jak i po obronie doktoratu. Dodatkowo, w dwóch projektach pełniła rolę zastępcy kierownika („*RamScan, System kontrolujący skład chemiczny surowców do produkcji cementu, pracujący w trybie ciągłym (online), oparty o neutronową analizę aktywacyjną i generator neutronów*”, NCBiR) oraz kierownika („*REVaMP, Retrofitting equipment for efficient use of variable feedstock in metal making processes*”, EU – Horyzont 2020). Habilitantka aktywnie współpracuje, w ramach projektów badawczych, z dwoma instytutami międzynarodowymi INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro oraz VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH i Eurecat. Na podkreślenie zasługuje również duża aktywność konferencyjna. Autoreferat wymienia aż osiemnaście przyczynków konferencyjnych, zarówno wystąpień ustnych jak i posterów.

Kariera zawodowa Habilitantki związana jest z Narodowym Centrum Badań Jądrowych, gdzie jest zatrudniona od 2009 roku. Obecnie jest Kierownikiem Pracowni Detektorów Promieniowania Jonizującego w Zakładzie Fizyki Detektorów.

Osiągnięcie naukowe będące podstawą wniosku habilitacyjnego

Dorobek publikacyjny Habilitantki, po ukończeniu doktoratu (2014 – 2024), składa się z 26 publikacji indeksowanych przez Clarivate Web of Science, posiadających w sumie 257 cytowania (bez autocytowań). Spośród nich Kandydatka wybrała siedem publikacji oraz dwa rozdziały opublikowane w monografiach naukowych jako cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Publikacje wiodące do zgłoszonego osiągnięcia pochodzą z czasopism *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A* oraz *Journal of Instrumentation*. W dziedzinie badań związanych z rozwojem detektorów do zastosowań związanych z fizyką jądrową oraz fizyką cząstek są to czasopisma elitarne. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że w każdej z publikacji zgłoszonej jako osiągnięcie Habilitantka jest pierwszą autorką, jest to według mnie znaczące osiągnięcie biorąc pod uwagę specyfikę pracy badawczej związanej z rozwojem systemów detekcyjnych, która jest pracą zespołową. Do osiągnięcia naukowego zgłoszono również udział w dwóch monografiach wieloautorskich, w tym jedna z nich wydana została przez prestiżowe wydawnictwo Taylor & Francis Group.

Spektrometria fotonów gamma z wykorzystaniem materiałów scyntylacyjnych jako elementów aktywnych jest jedną z najważniejszych metod pomiarowych stosowanych w fizyce jądrowej oraz w badaniach pokrewnych. Metoda ta znajduje zastosowanie zarówno w fundamentalnych badaniach fizyki jądrowej, badaniach środowiskowych, medycynie nuklearnej oraz w nowoczesnym wyposażeniu do monitorowania materiałów przekraczających granice państwowe. Detektory scyntylacyjne składają się z fotodetektora oraz materiału scyntylacyjnego, który pochłania kwanty gamma, a następnie emituje światło. Liczba fotonów wykrytych przez fotodetektor jest kluczowym parametrem definiującym jego wydajność, ponieważ te fotony przenoszą informacje o wykrytym promieniowaniu gamma. Im większa liczba



fotonów, tym bardziej szczegółowe informacje o promieniowaniu można uzyskać, co przekłada się na większą precyzję pomiarów.



Najczęściej stosowanymi fotodetektorami są tradycyjne fotopowielacze (PMT – ang. Photomultiplier Tube), które są obecne na rynku od ponad 70 lat. Charakteryzują się one wysoką wydajnością kwantową (do 43%), dużym wzmocnieniem ($10^3 - 10^8$), niskim prądem ciemnym oraz zdolnością do detekcji pojedynczych fotonów. PMT są dostępne w różnych rozmiarach, od kilkunastu milimetrów do dziesiątek centymetrów średnicy. Pomimo wielu zalet, PMT mają również wady, takie jak wrażliwość na pola magnetyczne, wysokie napięcie zasilania (dochodzące nawet do 1000 V), podatność na uszkodzenia mechaniczne oraz radiacyjne (szybkie hadrony) oraz wysokie koszty produkcji.

Alternatywą dla PMT są fotodiody krzemowe, w tym fotodiody PIN (ang. P-type, Intrinsic, N-type diode), fotodiody lawinowe (APD – ang. Avalanche Photodiode) oraz najnowsze macierze fotodiod lawinowych pracujących w trybie Geigera, znane jako fotopowielacze krzemowe (SiPM – ang. Silicon Photomultiplier). Główną zaletą tych fotodetektorów jest odporność na pola magnetyczne. SiPM-y łączą korzyści zarówno APD, jak i PMT, oferując wysokie wzmocnienie wewnętrzne (około $10^5 - 10^7$), odporność na pola magnetyczne oraz zdolność do detekcji pojedynczych fotonów. Dodatkowo, SiPM-y działają przy niskich napięciach zasilania poniżej 100 V, a większość najnowszych SiPM działa przy napięciach poniżej 40 V, co eliminuje ryzyko uszkodzenia w przypadku dużego strumienia fotonów pierwotnych.

Pomimo wielu zalet, SiPM-y mają również wady. Czułość wzmocnienia na zmiany temperatury wynosi zazwyczaj od 2% do 7% na stopień Celsjusza, mają one ograniczoną liniowość i zakres dynamiczny sygnałów rejestrowanych, a także małą powierzchnię aktywną. Ponadto, SiPM-y charakteryzują się dużą pojemnością i występowaniem efektów takich jak "impulsy wtórne" oraz "przesłuch impulsu". SiPM-y są produkowane przez wiele firm, takich jak Hamamatsu Photonics, Onsemi (SensL), Zecotek Photonics, FBK, Broadcom, ST-Microelectronics, Amplification Technologies oraz Ketek. W literaturze są one również znane pod innymi nazwami, takimi jak MPPC, MAPD, GM-APD, SSPM, SPAD oraz PPD.

SiPM-y składają się z wielu małych ogniw APD wytworzonych na wspólnym podłożu krzemowym. Obecnie dostępne SiPM-y mogą mieć powierzchnię aktywną od $0,18 \times 0,18 \text{ mm}^2$ do $6 \times 6 \text{ mm}^2$, a większe powierzchnie aktywne są osiągane dzięki macierzom SiPM. Każde ogniwo APD działa w trybie Geigera, a łączny sygnał wyjściowy jest sumą sygnałów ze wszystkich wyzwolonych ogniw. SiPM-y były szeroko testowane w fizyce wysokich energii, fizyce neutronów oraz medycynie nuklearnej. Pierwszy komercyjny skaner PET/MR oparty na SiPM-ach został wprowadzony przez GE Healthcare w 2014 roku. Dzięki większym powierzchniom aktywnym, SiPM-y mogą być efektywnie wykorzystywane w spektrometrii gamma z użyciem scyntylatorów, co pozwala na dokładne i precyzyjne pomiary promieniowania gamma.



Przedstawiony przez Habilitantkę dorobek poparty odpowiednimi publikacjami można podzielić, w mojej opinii, na trzy główne części:

- a) analiza i charakterystyka rozwiązań technologicznych zastosowanych w konstrukcji fotopowielaczy krzemowych pochodzących od różnych producentów (Hamamatsu, FBK oraz SensL), używanych do spektrometrii fotonów gamma oraz neutronów
- b) wykorzystanie fotopowielaczy krzemowych do konstrukcji detektorów scyntylacyjnych do badania jakości plazmy w reaktorach termojądrowych
- c) koncepcja i konstrukcja detektorów do dyskryminacji fotonów i neutronów przy użyciu materiałów scyntylacyjnych oraz wielokanałowych fotopowielaczy krzemowych.

W mojej opinii najważniejsze osiągnięcie Habilitantki to opracowanie złożonego modelu opisującego efektywny czas martwy dla poszczególnych komórek aktywnych fotopowielaczy SiPM. Model ma duże znaczenie w szczególności w przypadkach gdy obserwowane są impulsy wtórne oraz przesłuchy. Sam model oraz jego testy zostały opisane w publikacji A2 autoreferatu. Drugim, równie ważnym osiągnięciem jest wkład do nowatorskiego zastosowania systemów pomiarowych opartych o materiały scyntylacyjne (kryształy Stilbene oraz plastiki scyntylacyjne EJ299-33) odczytywane przez fotopowielacze krzemowe do jednoczesnego pomiaru fotonów oraz neutronów przy użyciu metody „przejścia przez zero”. Pozostałe aktywności jak bardzo szczegółowe analizy własności różnych typów fotopowielaczy oraz diagnostyka jakości plazmy na drodze detekcji wysokoenergetycznych kwantów gamma również są imponujące.

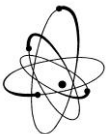
Wkład habilitantki oraz oświadczenia współautorów

Zarówno przedstawiony przez Habilitantkę materiał publikacyjny, z dokładnym opisem wkładu w każdą analizę, oraz oświadczenia współautorów nie pozostawiają w mojej opinii żadnych wątpliwości, że dr inż. Martyna Grodzicka-Kobyłka odgrywała wiodącą rolę we wszystkich publikacjach stanowiących osiągnięcie naukowe przedstawione do oceny w jej wniosku.

Pozostały dorobek habilitantki

Dodatkowe istotne osiągnięcia Habilitantki to:

- **Opiekun pomocniczy pracy magisterskiej** Tobiasza Zawistowskiego z Uniwersytetu Warszawskiego, pod tytułem "Pomiar własności scyntylacyjnych kryształów w szerokim zakresie temperatur"
- **Międzynarodowe seminarium:** Uniwersytecie Technologicznym im. Króla Mongkuta w Bangkoku na temat "*Silicon Photomultipliers in Gamma Spectrometry*"
- **Eksperymenty we współpracy z grupą z Tajlandią:** Wraz z dr. Tomaszem Szczęśniakiem gościła profesora Weeraponga Chewpraditkula z King Mongkut's University of Technology



Thonburi (KMUTT) z Bangkoku, przeprowadzając eksperymenty nad nowymi scyntylatorami granatowymi.

- **Projekt RamScan:** Habilitantka pełniła rolę zastępcy kierownika projektu RamScan, opartego na neutronowej analizie aktywacyjnej i kontrolującego skład chemiczny surowców do produkcji cementu
- **Projekt REVaMP:** jest menedżerem projektu i kierownikiem pakietu zadań w ramach projektu "REVaMP", finansowanego przez UE w ramach programu Horyzont 2020, mającego na celu unowocześnienie aparatury technicznej w metalurgii
- **Organizacja spotkań i konferencji:** Współorganizowała spotkanie liderów konsorcjum projektu REVaMP
- **Funkcje kierownicze w NCBJ:** Obecnie pełni funkcję Kierownika Pracowni Detektorów Promieniowania Jonizującego (PDPJ) oraz wcześniej była Zastępcą Kierownika Zakładu Fizyki Detektorów (TJ3) w NCBJ

Na uwagę zasługuje również aktywność w zakresie kontaktów z partnerami biznesowymi oraz pełnienie roli recenzentki w latach 2014 – 2023 w prestiżowych czasopismach branżowych (między innymi IEEE Transactions on Nuclear Science oraz Journal of Instrumentation).

Podsumowanie

Uważam, że przedstawione we wniosku habilitacyjnym osiągnięcia naukowe dr inż. Martyny Grodzickiej-Kobyłki stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej (fizyki) w zakresie fizyki detektorowej. Stwierdzam więc, że przedłożony do recenzji wniosek habilitacyjny spełnia w całej rozciągłości wymagania art. 219 ust.1 pkt 2 i 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Biorąc pod uwagę powyższe, przedstawiam wniosek do Rady Naukowej NCBJ o dopuszczenie dr inż. Martyny Grodzickiej-Kobyłki do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Tomasz Szumlak

