



UNIWERSYTET
WARSZAWSKI

Wydział Fizyki

WYDZIAŁ
FIZYKI

dr hab. Agnieszka Korgul, prof. UW
Zakład Fizyki Jądrowej
Instytut Fizyki Doświadczalnej

Warszawa 19.04.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Marii Szymko
z tytułem
„Budowa wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł
stosowanych w brachyterapii”

Rozprawa doktorska powstała na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Piotra Tulika, prof. PW. Praca była realizowana w ramach II edycji programu "Doktorat wdrożeniowy" Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (umowa 0049/DW/2018/02).

Recenzję rozprawy doktorskiej pt. „Budowa wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii” autorstwa Pani mgr Magdaleny Marii Szymko opracowałam na podstawie pisma Pana Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej **prof. dr. hab. inż. Gerarda Cybulskiego**. Sprawę proceduje **Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Warszawskiej**. Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałam zgodnie z wymogami ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r. poz. 1669, z późniejszymi zmianami). Zgodnie z jej treścią rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazywać głęboką wiedzę kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Każdego roku w Polsce, kilkanaście tysięcy pacjentów poddawanych jest leczeniu za pomocą brachyterapii, wykorzystując około 60 systemów dedykowanych do tego celu. Wszystkie używane w ośrodkach brachyterapii urządzenia dozymetryczne, takie jak komory studzienkowe, są kalibrowane pod kątem kermy w powietrzu dla promieniowania gamma izotopu Ir-192 w jedynym akredytowanym laboratorium w Polsce - Narodowym Instytucie Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie - Państwowym Instytucie Badawczym, lub za granicą.



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

WYDZIAŁ
FIZYKI

Spójność pomiarów w akredytowanym laboratorium opiera się również na międzynarodowych wzorcach, gdyż nie posiadamy krajowego wzorca kermy w powietrzu dla źródeł używanych w brachyterapii, tj. dla izotopu Ir-192.

W obliczu wspomnianego problemu, Autorka recenzowanej pracy wychodzi naprzeciw potrzebom Głównego Urzędu Miar (GUM), instytucji odpowiedzialnej za ustanawianie legalnych jednostek miar na terenie kraju oraz zapewnienie spójności pomiarowej na skalę międzynarodową. Celem pracy było stworzenie wzorca dla brachyterapii oraz zbudowanie go na GUM. Poza ustanowieniem wzorca kermy w powietrzu dla promieniowania gamma izotopu Ir-192 (co umożliwi transfer jednostki RAKR (*Reference Air Kerma Rate*) na poziomie krajowym), zaplanowano także opracowanie wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł HDR.

Praca składa się z trzech rozdziałów wstępu oraz podsumowania. Dodatkowo, zawiera także bogatą bibliografię oraz ułatwiające czytanie wykaz skrótów i akronimów, rysunków i wykresów oraz tabel.

Rozdział pierwszy jest bardzo dobrze napisanym wprowadzeniem opisującym brachyterapię jako formę radioterapii. Autorka przedstawia wielkości stosowane w przypadku tej formy leczenia, które są rekomendowane m.in. przez *Amerykańskie Stowarzyszenie Fizyków Medycznych (AAPM)*. W tekście Autorka zauważa, że niepewności związane z wielkościami dozymetrycznymi, oraz innymi czynnikami, pojawiają się na każdym etapie radioterapii. To bezpośrednio wpływa na niepewność dotyczącą wartości dawki, którą otrzymuje pacjent, a co za tym idzie, na jakość leczenia. Obszary, na których możliwe jest skupienie się w celu zmniejszenia niepewności, są jasno określone, a z perspektywy metrologicznej dotyczą one redukcji niepewności związanych z określaniem wielkości wejściowej do systemów planowania leczenia. Obecnie jest to referencyjna moc kermy w powietrzu, jednakże użycie dawki pochłoniętej w wodzie jako punktu odniesienia mogłoby przyczynić się do skrócenia łańcucha propagacji niepewności.

Obecnie instytucje metrologiczne oferują spójność pomiarową dla źródeł używanych w brachyterapii, zwłaszcza dla źródeł HDR o wysokiej aktywności, jedynie od pierwotnych wzorców referencyjnej mocy kermy w powietrzu RAKR dla promieniowania gamma izotopu ¹⁹²Ir. W Europie, z uwagi na szerokie stosowanie źródeł irydowych, nie ma również dostępnych wzorców RAKR dla promieniowania gamma izotopu Co-60, które są używane w HDR.



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

WYDZIAŁ
FIZYKI

Obecnie zakłady radioterapii opierają się na spójności pomiarowej dawki pochłoniętej w wodzie z wzorcami dla promieniowania gamma izotopu Co-60 oraz wysokoenergetycznego promieniowania gamma. Od długiego czasu istnieje jednak zainteresowanie w środowisku metrologicznym stworzeniem wzorców dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych zarówno w brachyterapii LDR, jak i HDR.

W kolejnej części opracowania, Autorka prezentuje trzy główne metody określania dawki pochłoniętej w wodzie: jonometryczną, kalorymetryczną i chemiczną. Każda z nich mierzy dawkę pochłoniętą w określonym materiale takim jak powietrze, grafit czy woda, która następnie jest przeliczana na wartość dawki pochłoniętej w wodzie przy użyciu odpowiednich współczynników obliczonych za pomocą metod Monte Carlo. Metoda jonometryczna, która wykorzystuje zjawisko jonizacji w wodzie, charakteryzuje się małą niepewnością (poniżej 0,5%) oraz ma zalety praktyczne, które skłoniły Autorkę do jej wykorzystania dla źródeł HDR.

Metoda została szczegółowo opisana w Rozdziale 2 wraz z opisem wyznaczenia współczynników poprawkowych przy zastosowaniu metod Monte Carlo, które pozwalają Pani Magdalenie Szymko uwzględnić, że pomiar dawki w wodzie odbywa się w powietrznej wnęce komory jonizacyjnej. Ich wkład do oceny mocy dawki (równanie 2.11, strona 41) jest w postaci iloczynowej. Kolejny podrozdział 2.3 poświęcony jest szacowaniu niepewności poświęcony. Warto podkreślić jest też weryfikacja symulacji poprzez pomiar, co przykładowo zostało opisane m.in. na stronie 60.

Na uwagę zasługuje staranność Autorki, która uwzględnia niepewność rozszerzoną dla rozkładu normalnego, przy założonym poziomie ufności 95%. Byłabym jednak wdzięczna za wyjaśnienie (podanie referencji) sposobu oceny zgodności dwóch wielkości (rozdział 2.3.1, równanie 2.14). Pomimo, że Pani Magdalena Szymko bardzo rzetelnie podchodzi do zagadnień rachunku błędów to nie uniknęła pominięcia niepewności podawanych wartości eksperymentalnych jak np. strona 54 brak niepewności do aktywności źródła Co-60, brak niepewności do podawanych wartości rozmiaru czy odległości (strona 55 Rysunek 2.4, strona 65 Tabela 3.2). Są to jednak drobne edytorskie nieścisłości, które nie pomniejszają bardzo dobrze zaprezentowaniu kolejnych etapów pomiaru oraz symulacji.

Rozdział 3, który poświęcony jest realizacji doktoratu, został napisany w sposób bardzo przemyślany i klarowny. Liczne rysunki doskonale ilustrują poszczególne etapy eksperymentu, prowadząc czytelnika przez proces krok po kroku. Opis każdego etapu jest bardzo szczegółowy i precyzyjny, co pozwala na pełne zrozumienie jak powstawało nowe



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

**WYDZIAŁ
FIZYKI**

stanowisko wzorca dawki pochłoniętej. Autorka zadbała, aby w ostatecznej formule układ zapewniał powtarzalność m.in. pozycji aplikatora względem źródła. Zabrakło mi jednak niepewności na rysunkach w rozdziale 3.2 Weryfikacja działania elementów stanowiska np. Rysunek 3.13, który opisuje moc kerny w powietrzu w funkcji pozycji źródła w aplikatorze. Nie do końca rozumiem co Autorka chciała podkreślić w zdaniu na stronie 77 "o czym świadczyć mogą pojawiające się dla wysuwu powyżej 5 cm duże różnice pomiędzy wynikami ...". Patrząc na Rysunek 3.14 do którego referuje komentarz, te rozbieżności są dla większości położenia wysunięcia kolimatora. Zabrakło mi też niepewności na kolejnych rysunkach chociaż na wyróżnienie jest rozdział 3.2.7 który precyzyjnie podaje wartości poszczególnych współczynników raz z niepewnościami m.in. Tabela 3.9 oraz pozostałe w tym rozdziale.

Te drobne nieścisłości nie umniejszają wysokiej jakości pracy oraz jego ważnego, aspektu praktycznego. W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej Pani mgr Magdalena Szymko, pod opieką promotora, opracowała i zrealizowała kompleksowe stanowisko wykorzystujące dwuźródłowy aparat HDR, dostosowany do wymogów ochrony radiologicznej oraz pomiarów z zastosowaniem źródeł Ir. Innowacyjna konstrukcja osłony ołowianej pozwoliła na precyzyjne pomiary komorą studzienkową w ograniczonej przestrzeni, eliminując rozproszenia promieniowania. Wykorzystanie istniejących elementów obniżyło koszty projektu. Badania przeprowadzone w trakcie realizacji pracy udowodniły użyteczność stanowiska i wskazały obszary potencjalnego rozwoju.

Przy użyciu komór jonizacyjnych GUM wyznaczono referencyjną moc kerny dla źródła Co-60 oraz rozpoczęto prace nad grafitową komorą jonizacyjną Julia, która może pełnić rolę wzorca pierwotnego dla mocy kerny w powietrzu dla źródeł HDR. Opracowanie wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł brachyterapii oparte zostało na metodzie jonometrycznej, potwierdzonej pomiarami i symulacjami Monte Carlo. Przetestowane stanowisko wzorca pierwotnego uzyskało wyniki wzorcowania z rozszerzoną niepewnością poniżej 3%.

Te osiągnięcia otwierają nowe perspektywy kontroli jakości w brachyterapii, a propozycja ustanowienia dawki pochłoniętej w wodzie jako wielkości referencyjnej stanowi kompleksowe rozwiązanie. Główny Urząd Miar zyskał nowe możliwości pomiarowe dla źródeł HDR, a przyszłe działania obejmują walidację wzorca referencyjnej mocy kerny dla źródeł HDR oraz dawki pochłoniętej w wodzie. Wyniki pracy mogą również przyczynić się do dalszego rozwoju badań związanych z tą tematyką.



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

**WYDZIAŁ
FIZYKI**

Na podstawie analizy treści przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej pt. „Budowa wzorca dawki pochłoniętej w wodzie dla źródeł stosowanych w brachyterapii” autorstwa Pani Magdaleny Marii Szymko stwierdzam, że Doktorantka wykazała odpowiedni poziom wiedzy w zakresie problematyki badawczej objętej niniejszą dysertacją, dowiodła, że posiada umiejętność samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz organizacji i planowania poszczególnych etapów eksperymentu w celu efektywnego rozwiązania postawionych problemów. Precyzyjny sposób przedstawienia w dysertacji poszczególnych etapów i prezentacja końcowych rezultatów - nowego stanowiska dowodzi dojrzałości naukowej Autorki i dowodzi, że Doktorantka zrealizowała założone cele naukowe zaplanowane w ramach doktoratu wdrożeniowego.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Marii Szymko spełnia wymagania ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. - przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r. poz. 1669, z późniejszymi zmianami). Na tej podstawie wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pani mgr Magdaleny Szymko do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Jednocześnie wnioskuję o przyznanie wyróżnienia przedłożonej do oceny rozprawie doktorskiej mgr Magdalenie Szymko ze względu na ważny, praktyczny aspekt, co jest zgodne z ideą doktoratów wdrożeniowych.