



Dr hab. Zygmunt Szefliński
Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów
Uniwersytet Warszawski

ul. Pasteura 5A, 02-093 Warszawa
tel: +(48 22) 55 46 211, fax: +(48 22) 6592714
e-mail: szef@fuw.edu.pl
Adres prywatny:
Al. KEN 98 m 178, 02-777 Warszawa
tel. kom. (+48) 607 043 387



Warszawa, dn.20.02.2020 r.

Recenzja pracy mgr Hiby Musadaq Salim Al-Hameed pt.
"Study on the Application of Phototransferred Thermoluminescence to
Reassessment of Radiation Dose
Using the MCP-N and MTS-N Detectors"

Zgodnie z ustawą „Prawo atomowe” przy pracy z promieniowaniem jonizującym wymagana jest ocena narażenia pracowników, prowadzona na podstawie kontrolnych pomiarów dawek indywidualnych lub pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy. Dla oceny dawek dla osób zatrudnionych w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące rutynowo stosowana jest dozymetria z użyciem detektorów termoluminescencyjnych (TL). Poza detektorami termoluminescencyjnymi w dozymetrii klinicznej *in vivo* wykorzystuje się dawkomierze półprzewodnikowe, a także komory jonizacyjne. Stosowanie tych ostatnich jest uwarunkowane możliwością bieżącego odczytu, zaś dozymetrię termoluminescencyjną (TLD) stosuje się tam, gdzie dopuszczalne jest dostarczenie wyniku dopiero po zakończeniu napromieniania i odczycie dawkomierza. Dawkomierze termoluminescencyjne mają niewielkie rozmiary, są tanie i nie wymagają zasilania – są więc wygodne w użyciu i bezpieczne zarówno dla pracownika, pacjenta jak i pracodawcy czy kliniki. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę, że na wartość odczytu dawkomierza TLD nie wpływają warunki napromieniania takie jak moc dawki, moc dawki skumulowanej w poprzednich ekspozycjach, czy temperatura w której dozymetr był napromieniany.

Należy więc uznać, że praca doktorska mgr Hiby Musadaq Salim Al-Hameed dotyczy bardzo aktualnej tematyki, a równocześnie ważnej ze względu na powszechne stosowanie promieniowania jonizującego w badaniach naukowych,

diagnostyce i terapii medycznej oraz w przemyśle. Termoluminescencyjna metoda pomiaru dawek jest metodą całkującą, jest niesłychanie wygodna w praktyce, toteż obszar jej zastosowań stale rośnie. Choć główną wadą detektorów TL jest utrata informacji o dawce zapisanej w płytkich pułapkach, to metoda luminescencji stymulowanej optycznie (Photo-Transferred ThermoLuminescence PTTL) umożliwia rozwiązanie tego problemu, gdyż sygnał zapisany w głębokich pułapkach nie jest niszczone podczas konwencjonalnego odczytu TL i może być odczytany podczas jednoczesnej stymulacji promieniowaniem UV i wygrzewania, dzięki odczytowi informacji zapisanej w głęboko położonych pułapkach.

Praca doktorska mgr Hiby Musadaq Salim Al-Hameed jest napisana w języku angielskim, dotyczy interesującego zagadnienia zastosowania luminescencji stymulowanej optycznie - PTTL do wtórnego – niekiedy awaryjnego odczytu dawki dawkomierzy TL dwu typów MTS-N i MCP-N wykorzystywanych w niniejszej pracy. Dawkomierze takie, znane jako spiekane detektory produkowane są w przedsiębiorstwie Radcard s.c. Factory Park wywodzącej się z Samodzielnej Pracowni Ochrony przed Promieniowaniem Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie pod nazwami handlowymi MTS-N (z LiF: Mg,Ti o naturalnym składzie izotopowym litu) oraz MCP-N (z LiF: Mg,Cu,P o naturalnym składzie izotopowym litu).

Praca składa się z ośmiu rozdziałów. Streszczenie, Cel badań i Rozdział I – zatytułowany jako Wstęp wskazują motywację podjęcia badań i definiują przedmiot rozprawy jako poszukiwanie optymalnych warunków stymulacji TLD za pomocą podnoszenia temperatury i napromieniania promieniowaniem UV w celu uzyskania najlepszego powtórnego odtworzenia dawki z użyciem technologii PTTL. W rozdziale drugim autorka definiuje i omawia podstawowe pojęcia dozymetrii – jednostki, skutki biologiczne, zasady ochrony radiologicznej, przyrządy dozymetryczne, a w szczególności dawkomierze TL.

Rozdział trzeci i czwarty poświęcone są omówieniu zjawiska termoluminescencji i luminescencji stymulowanej optycznie. Mgr Hiba Al-Hameed omawia mechanizmy procesów TL i PTTL. Przedstawia argumenty uzasadniające kształt krzywych TL wskazując, że ze wzrostem temperatury następuje wzrost liczby uwalnianych elektronów do czasu gdy nie zacznie drastycznie maleć ilość wypełnionych elektronami pułapek. Przy dalszym wzroście temperatury liczba uwalnianych elektronów szybko spada z powodu opróżnienia pułapek elektronowych. Przy liniowym podnoszeniu temperatury otrzymuje się zatem różniczkową krzywą

wyświetlania będącą wykresem zależności natężenia światła termoluminescencji od temperatury. Autorka ilustruje przedstawiane rozważania przykładami krzywych TL dla różnych materiałów stosowanych w TLD. Tutaj omówiła istotny element techniki termoluminescencji związany z obróbką temperaturową detektorów przed użyciem prowadzącym do usunięcia pamięci termoluminescencyjnej i wyeliminowania wpływu szkodliwego promieniowania produkowanego podczas odczytu. Ta obróbka temperaturowa – wybór metody nagrzewania to tzw. anilacja detektorów. Ponieważ celem pracy mgr Hiba Musadaq Salim Al-Hameed jest badanie możliwości powtórnego odtworzenia dawki z użyciem technologii PTTL dla dozymetrów termoluminescencyjnych MTS-N i MCP-N stąd szczegółowe omówienie zjawiska PTTL indukowanego transferem ładunków elektrycznych z głębokich do płytkich pułapek.

Rozdział piąty autorka poświęca zastosowaniom systemów detekcyjnych TLD w fizyce medycznej, ocenie narażenia pracowników (dozymetria osobista), monitoringu środowiskowym i dozymetrii reaktorowej. Przy każdym z omawianych zastosowań autorka zwraca uwagę na rolę dawkomierzy TL.

Kluczowe dla niniejszej rozprawy są rozdziały szósty i siódmy, gdyż doktorantka przedstawia w nich własne wyniki pomiarów. W rozdziale szóstym autorka przedstawia używaną aparaturę do napromieniania dozymetrów TL – akcelerator liniowy i źródło promieniowania rentgenowskiego, omawiając parametry techniczne tych urządzeń. Dalej omawia parametry techniczne detektorów MTS-N i MCP-N, czytnika TLD RA'04 z omówieniem trzech trybów pracy, urządzenia do anilacji dozymetrów MT 1105-E4 i SUP-18 W oraz lampy UV umożliwiającej napromienianie detektorów przy trzech długościach fal 254 nm, 302 nm i 365 nm. Ostatnim przyrządem omówionym w tym rozdziale jest multimetr Barracuda mierzący dawki, moce dawki i napięcie uzyskiwane z aparatów rentgenowskich. W tym rozdziale autorka rozprawy szczegółowo przedstawia procedury pomiarowe oddzielnie dla detektorów MTS-N i MCP-N.

W rozdziale siódmym mgr Hiba Musadaq Salim Al-Hameed przedstawia wyniki badań dozymetrów w zakresie dawek 100 -1000 mGy dla MTS-N i do 25 mGy dla MCP-N. Technikę PTTL do wtórnej oceny dawki stosuje używając typowych procedur: selekcji, anilacji przedekspozycyjnej, ekspozycji przy użyciu akceleratora liniowego bądź aparatu rentgenowskiego i odczytu czytnikiem TLD. Na początku ustala wartość parametru testowego czytnika związanego z czułością detekcji

promieniowania (Test parameter). Sprawdzając proporcjonalność liczby zliczeń do wartości parametru testowego z zakresu 300-3000 wybiera wartość tego parametru – (1500) we wszystkich dalszych pomiarach. Podobnie skrupulatnie przystępuje do wyboru długości fali promieniowania UV. Z trzech możliwych 254, 302 i 365 nm wybiera długość fali $\lambda=254$ nm przy której uzyskuje najwyższą wartość współczynnika korelacji i współczynnika kierunkowego w dopasowaniu liniowym zależności liczby zliczeń od dawki. Po wstępnych ustaleniach parametru testowego i długości fali promieniowania UV przystępuje do zbadania liniowości detektorów dla pierwszego i powtórnego odczytu – dla każdej dawki 10 detektorów zostaje poddanych ekspozycji i pierwszemu odczytowi a następnie napromienieniu UV z jednoczesnym ogrzewaniem aby dokonać powtórnego odczytu (odczyt PTTL). Na uwagę zasługuje fakt, że doktorantka przytacza wyniki uzyskane dla poszczególnych, wartości parametrów w poszukiwaniu optimum. Zarówno sygnał pierwszego, jak i powtórnego odczytu (PTTL) dla dozymetrów MTS-N wykazują liniową zależność liczby zliczeń czytnika od dawki. Liniowość zachowuje się dla czasów ekspozycji na promieniowanie UV od 0,5 godz. do 4 godz. choć dla ekspozycji 4-godzinnej wartość współczynnika kierunkowego istotnie maleje zaś parametr odcięcia istotnie wzrasta. Ze względu na wpływ parametru odcięcia w dopasowaniu liniowym sygnału PTTL od dawki, autorka proponuje określenie wydajności metody PTTL jako stosunek współczynników kierunkowych zależności sygnałów pierwszego i powtórnego odczytu od dawki.

Z kolei autorka przystępuje do badania sygnału pierwszego i powtórnego odczytu (PTTL) dla dozymetrów MCP-N. Sygnał pierwszego odczytu detektora MCP-N wykazuje liniową zależność liczby zliczeń czytnika od dawki, ale liniowość sygnału powtórnego odczytu nie jest akceptowalna. Współczynniki korelacji w zależności sygnału od dawki osiągają wartości znacznie niższe niż przy sygnale pierwszego odczytu, co oznacza, że sygnał PTTL detektora MCP-N nie może być wykorzystywany do powtórnego określenia dawki z zakresu do 25 mGy.

W ramach recenzowanej dysertacji autorka przedstawiła wyniki eksperymentów obejmujących w szczególności test hipotezy czy technologia luminescencji stymulowanej optycznie (PTTL) może znaleźć zastosowanie do wtórnej oceny dawek dla dozymetrów MTS-N i MCP-N. Podsumowując rezultaty badań własnych mgr Hiby Musadaq Salim Al-Hameed w zakresie testu tej hipotezy należy przyznać, że są one w pełni oryginalne i stanowią istotne uzupełnienie

dotychczasowej wiedzy o możliwościach odczytu detektorów termoluminescencyjnych. Zaprezentowane wyniki wskazują jednoznacznie, że o ile detektory MTS-N mogą zostać użyte do wtórnej oceny dawek z zakresu 100-1000 mGy, to dla czulszych detektorów MCP-N dla dawek poniżej 25 mGy technika PTTL nie może być stosowana.

Rozprawa oparta jest na przygotowanej do druku pracy „The photo-transferred thermoluminescence phenomenon in case of emergency dose assessment” , której mgr Hiba Al-Hameed jest współautorką. Należy dodać, że mgr Hiba Al-Hameed jest autorką trzech prac nie związanych bezpośrednio z recenzowaną rozprawą, z których jedna „MTS-6 detectors calibration by using ^{239}Pu -Be neutron source”, Medycyna Pracy 2017, vol. 68(6) 707-710 dotyczy badania dozymetrów, a jest opublikowana w czasopiśmie o punktacji 40 pkt. wg MNiSzW. Dlatego również wysoko należy ocenić dorobek mgr Hiby Musadaq Salim Al-Hameed nie związanych bezpośrednio z recenzowaną rozprawą.

Najważniejsze osiągnięcie pracy to zademonstrowanie użyteczności technologii PTTL dla awaryjnego określenia dawki dozymetrów MTS-N po zwykłym odczycie sygnału TL. Przy tym autorka określa optymalne warunki napromieniania UV wybierając z trzech dostępnych długości fal, promieniowanie o najwyższej energii z długością fali $\lambda=254$ nm. Przy tym określa optymalny czas napromieniania i nagrzewania detektora jako 0,5-3 godzin przy temperaturze 80°C , a wydajność metody PTTL przy tych warunkach określa jako 11-13%. Jednoznaczna odpowiedź, iż detektory MCP-N dla dawek nie przekraczających 25 mGy nie mogą być używane dla awaryjnego określania dawki przy technologii PTTL to również istotny wynik niniejszej pracy.

Wymienione w recenzji osiągnięcia mgr Hiby Al-Hameed, to zaledwie cząstka tego co dokonała. Jej praca zawierają ogromny ładunek danych nowych interesujących rezultatów, które mogą być przedmiotem zainteresowania jednostek klinicznych tworzących systemy dozymetryczne oparte na detektorach MTSN.

Praca jest bardzo starannie zredagowana, znalazłem jednakże drobną usterkę którą dla porządku wymienię. Na stronie 4 autorka zamieszcza wzór (2.3) zapisany jako $\text{LET}=\text{dE}_{\Delta}/\text{dm}$, choć powinno być $\text{LET}=\text{dE}_{\Delta}/\text{dl}$. Ta usterka nie zmienia wysokiej wartości pracy.

Rozprawę należy uznać za dojrzałe dzieło o wysokich wartościach poznawczych i aplikacyjnych, proponujące nowe podejście do zagadnień tworzenia nowych systemów dozimetrii. Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydatki w dziedzinie fizyki, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i pracy w zespole. Praca ta stanowi samodzielną i wyodrębnioną część pracy zbiorowej, a indywidualny wkład mgr Hiba Al-Hameed, został zaprezentowany w rozprawie.

Praca ta spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę z marca 2003 r. z późniejszymi zmianami z dnia 21 kwietnia 2017 o stopniach naukowych i tytule naukowym, dlatego wnoszę o dopuszczenie magister mgr Hiba Musadaq Salim Al-Hameed do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony.

Zygmunt Szefliński