

**Nanodosimetric characteristic of carbon ion beam–  
experiments and Monte Carlo simulations**  
Nanodozymetryczna charakterystyka wiązki jonów węgla –  
doświadczenia i symulacje Monte Carlo

Marcin Jan Pietrzak

Celem pracy są nanodozymetryczne badania jonów węgla z wykorzystaniem podejścia eksperymentalnego i teoretycznego. Podstawowym układem doświadczalnym wykorzystywanym w badaniach jest nanodozymetr Jet Counter, który działa na zasadzie zliczania pojedynczych jonów utworzonych przez cząstki jonizujące w milimetrowej objętości gazu o małej gęstości. Objętość ta jest modelem targetu biologicznego o rozmiarze porównywalnym do krótkiego odcinka nici DNA.

W pracy przedstawiono nowe techniki i koncepcje dotyczące zarówno pomiarów nanodozymetrycznych, jak i analizy danych eksperymentalnych zebranych z wykorzystaniem akceleratorowych źródeł lekkich jonów. Urządzenie Jet Counter zostało zainstalowane na linii badawczej akceleratora w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie służyło do pomiaru klastrow jonizacyjnych wytwarzanych przez jony węgla o energii kinetycznej z zakresu od 12 MeV do 84 MeV. Dodatkowe testy przeprowadzono przy użyciu źródła ameryku  $^{241}\text{Am}$  emitującego cząstki  $\alpha$ . Jako uzupełnienie pomiarów zbudowano model numeryczny nanodozymetru Jet Counter przy użyciu zestawu narzędzi Geant4-DNA opartych na metodach Monte Carlo.

W niniejszej pracy po raz pierwszy przedstawiono nowe metody analizy oparte na uogólnionym rozkładzie Poissona (GPD) jako modelu rozkładu wielkości klastrow jonizacyjnych (ICSD). Obejmują one procedurę odwikłania funkcji odpowiedzi detektora (DRF), jak również wskazują możliwość wykorzystania danych ze zdarzeń wielocząstkowych, zwykle traktowanych jako bezużyteczne pile-upy.

Opracowano również i zastosowano nową technikę pomiarów nanodozymetrycznych z dwoma targetami, co umożliwiło po raz pierwszy otrzymanie dwuwymiarowych rozkładów ICSD zaprezentowanych w tej pracy. Technika ta pozwala na badanie korelacji przestrzennych tworzenia klastrow jonizacyjnych w dwóch sąsiadujących targetach nanometrowych.

Poza uzyskaniem wyników dla różnych warunków eksperymentalnych, zebranie nowych danych umożliwiło przetestowanie niektórych właściwości Jet Counter, takich jak prędkość strumienia gazu i jednorodność targetu, które wcześniej nie były zbadane.

Zaproponowano również nowe podejście do interpretacji rozkładów ICSD w objętościach nanometrowych w kategoriach prawdopodobieństwa pierwotnych uszkodzeń radiacyjnych. Dzięki nowemu podejściu pomiar nanodozymetryczny można postrzegać jako poprawny model uszkodzeń DNA wywołanych promieniowaniem jonizującym.