

Autor: Ewa Laszyska

Tytuł rozprawy doktorskiej: Badania kalibracyjne aparatury przeznaczonej do aktywacyjnej diagnostyki neutronów z reakcji syntezy jądrowej D-T w tokamaku JET.

Rozprawa doktorska opisuje zagadnienie kalibracji aparatury umożliwiającej pomiar neutronów z reakcji syntezy jądrowej D-T w tokamaku JET. Poprawne oszacowanie wielkości emisji neutronów z plazmy pozwala na wyznaczenie mocy fuzji jądrowej, parametrów plazmy i ma znaczący udział w rozważaniach związanych z zagadnieniami bezpieczeństwa.

Emisja neutronów w tokamaku JET jest mierzona za pomocą kilku systemów pomiarowych. Pierwszy z nich (system KN1) składa się z trzech par moderowanych komór rozszczepieniowych zawierających $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$. Są one umieszczone w oktantach 2, 6, 8. Kolejnym systemem służącym do pomiaru emisji neutronów w tokamaku JET jest system aktywacyjny (KN2). Ze względu na zbliżającą się kampanię eksperymentalną z użyciem trytu na tokamaku JET, oba systemy zostały wykalibrowane w 2017 roku. Otrzymane rezultaty zostały przedstawione w rozprawie doktorskiej.

Jednym z wyzwań, z którym należało się zmierzyć w trakcie kalibracji urządzeń pomiarowych, służących do diagnostyki neutronów w tokamaku JET, było scharakteryzowanie i zastosowanie generatora neutronów o energii 14 MeV jako źródła kalibracyjnego. Źródło kalibracyjne tego typu zostało użyte po raz pierwszy w historii tokamaka JET wewnątrz komory próżniowej. Stosując generator jako źródło kalibracyjne, konieczne było precyzyjne określenie jego wydajności i stabilności emisji neutronów, a także widma energetycznego neutronów w funkcji kąta emisji oraz jej anizotropii. Jedną z metod, wykorzystaną w celu oszacowania wydajności emisji generatora neutronów, była metoda aktywacyjna. Niniejsza praca doktorska miała na celu udowodnienie, że metoda ta spełnia wymagania umożliwiające monitorowanie wydajności emisji neutronów w czasie kampanii deuterowo-trytowych w tokamaku JET. W tym celu przeprowadzono szereg szczegółowych badań eksperymentalnych oraz symulacji numerycznych, które zostały opisane w niniejszej rozprawie.

Na wstępnym etapie badań, przeprowadzono szczegółową analizę literatury związanej z badaniami kalibracyjnymi diagnostyk neutronowych dla urządzeń fuzyjnych. Wykazano również, że konieczne jest wyznaczenie współczynników kalibracyjnych dla diagnostyk neutronowych dla neutronów o energii 14 MeV. Powody konieczności monitorowania emisji neutronów w trakcie kalibracji diagnostyk neutronowych tokamaka JET zostały również opisane w rozprawie doktorskiej.

Jedną z ważniejszych części rozprawy doktorskiej był wybór odpowiednich reakcji jądrowych umożliwiających monitorowanie emisji 14-MeV neutronów. Podczas selekcji rozważano wiele parametrów dotyczących zarówno reakcji jądrowych jak i ich produktów. W rezultacie wybrano następujące reakcje jądrowe: $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$, $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ oraz $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$. W celu sprawdzenia poprawności dokonanego wyboru, autorka przeprowadziła badania eksperymentalne. Pierwsze z nich obejmowało napromieniowanie próbek aktywacyjnych wykonanych z wybranych materiałów w strumieniu neutronów o energii 14 MeV emitowanych z generatora neutronów w Narodowym Centrum Badań Jądrowych. Drugi eksperyment polegał na napromieniowaniu próbek wybranych materiałów wewnątrz tokamaka JET, w lokalizacji oznaczonej symbolem 3U, należącej do systemu diagnostycznego KN2. Aktywacje przeprowadzono podczas kampanii z zastosowaniem

czystego deuteru. Wykorzystywano neutrony o energii 14 MeV pochodzące z reakcji dopalania trytu. Rezultaty otrzymane podczas obu badań eksperymentalnych posłużyły do opracowania optymalnej sekwencji pomiarowej.

W celu udowodnienia postawionej tezy naukowej, wykonano również zaawansowane symulacje numeryczne z zastosowaniem kodu FISPACT-II. Otrzymane rezultaty zostały porównane z wartościami wyznaczonymi metodą eksperymentalną.

Autorka dysertacji opracowała narzędzie numeryczne pozwalające wyznaczyć wydajność emisji generatora neutronów dla wszystkich rozważanych warunków eksperymentalnych. Narzędzie to zostało pomyślnie zastosowane podczas charakteryzacji 14-MeV generatora neutronów jak również podczas kalibracji diagnostyk neutronowych tokamaka JET.

Charakteryzacja 14-MeV generatora neutronów została wykonana w National Physical Laboratory w Teddington. Autorka dysertacji była odpowiedzialna za pomiary promieniowania gamma, emitowanego z napromieniowanych próbek aktywacyjnych, za pomocą detektora półprzewodnikowego oraz oszacowanie ich radioaktywności. W celu wyznaczenia wydajności emisji generatora neutronów dla każdego dnia kampanii charakteryzacyjnej, przeprowadzono obliczenia z zastosowaniem wspomnianego wcześniej narzędzia numerycznego. Otrzymane rezultaty zostały porównane z wartościami tej emisji mierzonymi za pomocą detektora diamentowego. Uzyskano dużą zgodność wyników otrzymanych dla obu metod pomiarowych.

Najważniejszą częścią przeprowadzonych badań była kalibracja diagnostyk neutronowych tokamaka JET z zastosowaniem generatora neutronów o energii 14 MeV. W tym przypadku, autorka dysertacji była odpowiedzialna za wyznaczenie wydajności emisji generatora neutronów w czasie całej kampanii kalibracyjnej.

Autorka opracowała również alternatywną metodę wyznaczania wydajności emisji generatora neutronów na podstawie wyników pomiarów aktywacyjnych i z zastosowaniem kodu FISPACT-II. Wykazano, że obie metody wyznaczania wydajności emisji generatora neutronów są jednakowo dobre i mogą być stosowane zamiennie np. podczas kalibracji diagnostyk neutronów innych układów plazmowych.

Wyznaczone przez autorkę wartości wydajności emisji generatora neutronów umożliwiły wyznaczenie współczynników kalibracyjnych dla komór rozszczepieniowych dla neutronów prędkich emitowanych z plazmy deuterowo-trytowej (tzw. system KN1) oraz współczynników aktywacyjnych dla wytypowanych materiałów napromieniowanych próbek (tzw. system KN2). Współczynniki te będą weryfikowane na tokamaku JET podczas planowanych kampanii eksperymentalnych z zastosowaniem trytu.