

Streszczenie popularnonaukowe

Reakcje fuzji deuter–deuter (DD) mają fundamentalne znaczenie w fizyce jądrowej i astrofizyce jądrowej. Zazwyczaj prawdopodobieństwo ich zajścia (czyli przekrój czynny reakcji) gwałtownie maleje wraz ze spadkiem energii kinetycznej początkowej deuteronów. Jednakże eksperymenty akceleratorowe przeprowadzone przy bardzo niskich energiach deuteronów, z wykorzystaniem metalicznych tarcz, wykazały znacznie wyższe przekroje czynne niż oczekiwano. Zaobserwowanego wzmocnienia nie da się w pełni wyjaśnić znanym efektem ekranowania elektronowego, w którym elektrony otaczające jądra atomowe redukują wysokość bariery kulombowskiej i zwiększają prawdopodobieństwo zajścia reakcji. Najnowsze badania teoretyczne sugerują, że dodatkowy wkład może pochodzić od wąskiego stanu rezonansowego o spinie i parzystości 0^+ w jądrze ^4He , zlokalizowanego tuż powyżej progu reakcji DD (23,85 MeV). Przewiduje się, że rezonans ten rozpada się głównie poprzez tzw. wewnętrzne tworzenie par (IPC – *Internal Pair Creation*), rzadki proces elektromagnetyczny, w którym emitowana jest para elektron–pozyton zamiast protonu. Modele teoretyczne przewidują, że udział tego procesu rośnie wraz ze spadkiem energii deuteronów i może tłumaczyć obserwowane zwiększenie przekrojów czynnych w środowiskach metalicznych. Jednak detekcja sygnałów IPC przy tak niskich energiach (od 5 keV do około 1 keV) stanowi duże wyzwanie eksperymentalne ze względu na bardzo niskie przekroje czynne oraz obecność promieniowania tła pochodzenia naturalnego i kosmicznego, co szczególnie utrudnia pomiary w warunkach naziemnych.

Głównym celem projektu jest przeprowadzenie pierwszego pomiaru rozpadu IPC w reakcji DD przy energiach deuteronów poniżej 5 keV, z rozszerzeniem zakresu badań do około 1 keV. Kluczowym zadaniem będzie wyznaczenie stosunku rozgałęzienia elektron–proton i porównanie wyników z przewidywaniami teoretycznymi. Aby to osiągnąć, projekt zakłada zastosowanie podwójnej metody detekcji: bezpośredniego wykrywania par elektron–pozyton za pomocą teleskopu detektorów krzemowych w konfiguracji ΔE – E oraz pośredniej detekcji fotonów anihilacyjnych o energii 511 keV i promieniowania hamowania (bremsstrahlung) przy użyciu dużych detektorów scyntylacyjnych NaI(Tl) pracujących w trybie koincydencji. Metody te mają na celu skuteczną redukcję tła i umożliwienie pomiarów przy najniższych energiach. Eksperymenty zostaną przeprowadzone przy pomocy akceleratora z ultra wysoką próżnią (UHV) na Uniwersytecie Szczecińskim, wyposażonym w wysoko-prądowe źródło jonów ECR (Electron Cyclotron Resonance) oraz dedykowany elektrostatyczny układ soczewkowy do deakceleracji, pozwalający na uzyskanie stabilnych wiązek deuteronów o energiach nawet do 1 keV w warunkach UHV. Integralną częścią projektu będzie szczegółowa charakterystyka promieniowania tła, wsparta symulacjami Monte Carlo w środowisku GEANT4, w celu modelowania i minimalizacji wpływu promieniowania środowiskowego i kosmicznego na wyniki pomiarów. Dokładne modelowanie tła jest kluczowe dla wiarygodnej identyfikacji sygnałów IPC przy tak niskich energiach.

Oczekuje się, że wyniki projektu wniosą istotny wkład w zrozumienie mechanizmów generowania energii w zwartych obiektach astrofizycznych, takich jak brązowe karły i olbrzymie egzoplanety (tzw. „super-Jowisze”). Zwiększone efektywność reakcji DD obserwowane w laboratoryjnych eksperymentach z metalicznymi tarczami może pomóc w wyjaśnieniu nadmiarowej produkcji energii i anomalii promieni tych ciał niebieskich. Projekt dostarczy istotnych danych eksperymentalnych niezbędnych do udoskonalenia modeli astrofizycznych opisujących ich ewolucję termiczną. Ponadto metody tłumienia tła oraz techniki detekcyjne opracowane w ramach projektu będą miały zastosowanie w innych eksperymentach z zakresu fizyki jądrowej rzadkich zjawisk, w tym w fizyce cząstek elementarnych i astrofizyce cząstek. Przesuwając granice możliwości eksperymentalnych, projekt ma na celu dostarczenie pierwszych w historii pomiarów przekrojów czynnych reakcji DD poniżej 5 keV w warunkach ultra wysokiej próżni.