

Krótki opis prowadzonych badań w ramach rozprawy doktorskiej

W ramach przygotowania rozprawy doktorskiej prowadzone są badania teoretyczne nad opracowaniem modelu, odtwarzającego eksperymentalne rozkłady mas fragmentów powstałych po rozszczepieniu jądra atomu. Potrzeba stworzenia pełnego, teoretycznego modelu, który opisałby proces rozszczepienia, istnieje od momentu, kiedy po raz pierwszy zaobserwowano ten rodzaj niestabilności ciężkich jąder (rok 1938). Model taki powinien odtwarzać podstawowe charakterystyki zjawiska, w tym wyjaśniać mechanizmy odpowiedzialne za podział nukleonów pomiędzy produkty rozpadu. Jak dotąd zaobserwowano trzy typy rozszczepienia, które na podstawie zmierzonych rozkładów mas fragmentów określa się jako: symetryczne, asymetryczne oraz bimodalne.

W przeprowadzonych badaniach można wyodrębnić trzy zasadnicze etapy: mikroskopowe rachunki statyczne i dynamiczne oraz, w końcowym etapie, włączenie efektów makroskopowych na mechanizm rozerwania szyjki jądra.

1. Etap pierwszy polegał na wyznaczeniu powierzchni energii potencjalnej badanych jąder. W tym celu zastosowany został samozgodny model Hartree'ego-Fock'a-Bogoliubowa (HFB) wraz z zależnym od gęstości funkcjonalem sił jądrowych typu Gogny. Równania rozwiązano z nałożonymi więzami na moment kwadrupolowy (wydłużenie) i oktapolowy (kształty „gruszkowate”). Analiza zmian gęstości przestrzennej nukleonów w kolejnych punktach przestrzeni deformacji, pozwoliła znaleźć punkty pre-scission, czyli wszystkie konfiguracje jądra poprzedzające jego rozerwanie. Następnie, w oparciu o adiabatywny zależny od czasu model HFB, obliczone zostały parametry masowe deformującego się jądra.
2. Kolejny etap prac polegał na włączeniu do opisu dynamiki rozszczepienia. Wykorzystana została zależna od czasu metoda współrzędnej generującej wraz z przybliżeniem gaussowskim (GCM+GOA). Model ten pozwolił na obliczenie funkcji falowej jądra stanu początkowego (zarówno stanu podstawowego, jak i kolejnych stanów wzbudzonych). Następnie funkcja stanu początkowego była poddana ewolucji czasowej. Korzystając z równania ciągłości prądu prawdopodobieństwa, obliczone zostało prawdopodobieństwo osiągnięcia przez jądro każdego z punktów, leżących na linii pre-scission.
3. Każda z konfiguracji leżących na linii pre-scission została poddana analizie makroskopowej, w oparciu o metodę, zwaną „mechanizmem przypadkowego rozerwania szyjki”. W punkcie poprzedzającym rozerwanie jądro przybiera kształt, w którym widoczne są już zarysy powstających fragmentów, pomiędzy którymi znajduje się kilkanaście nukleonów, tworzących przewężenie zwane szyjką. Z największym prawdopodobieństwem do rozerwania dojdzie w miejscu, gdzie gęstość nukleonów jest najmniejsza. Ze względu jednak na statystyczne fluktuacje drgań powierzchni jądrowej, możliwe jest także (ze stosownym prawdopodobieństwem), że do rozerwania dojdzie także w innym miejscu, wzdłuż osi symetrii jądra. Prawdopodobieństwo to maleje eksponencjalnie wraz ze wzrostem liniowej gęstości nukleonów (przekroju poprzecznego szyjki). Każdemu takiemu podziałowi w obrębie jednego kształtu odpowiada inny podział nukleonów. Ten dodatkowy efekt włączony został w końcowym etapie obliczeń. Z rachunków dynamicznych otrzymane zostało prawdopodobieństwo osiągnięcia przez jądro danego kształtu, następnie zaś dla każdego z kształtów określono prawdopodobieństwo rozerwania jądra z konkretnym podziałem masy pomiędzy oba fragmenty. W efekcie, po zsumowaniu tych cząstkowych rozkładów mas z odpowiednimi wagami wynikającymi z rachunków dynamicznych, otrzymano ostateczny rozkład mas.

Otrzymane rozkłady są nieco węższe w porównaniu z eksperymentalnymi. Chcąc ustalić źródło tych rozbieżności, wykonane zostały analizy wpływu wyboru stanu początkowego na końcowy rozkład prądu prawdopodobieństwa wzdłuż linii pre-scission. Przebadane zostały stany początkowe począwszy od podstawowego do stanu leżącego ok. 4 MeV nad barierą. Wykonano obliczenia pod kątem wpływu energii wzbudzenia, parzystości stanów czystych, a także różnych statystycznych metod otrzymywania stanów mieszanych. Stwierdzono, że żadna z tych własności, jak i czas propagacji paczki falowej nie wpływają znacząco na kształt uzyskanego rozkładu mas fragmentów. Główna przyczyna uzyskiwanych wąskich rozkładów tkwi w ograniczeniu rachunków dynamicznych do dwóch stopni swobody deformacji.

W ramach proponowanych badań planowane jest rozszerzenie modelu o dodatkowy, trzeci wymiar – np. moment heksadekapolowy lub natężenie oddziaływania „pairing”. Wykonane zostaną obliczenia statyczne trójwymiarowej powierzchni energii potencjalnej deformowanego jądra oraz elementów tensora masowego. Przebudowany także zostanie w znacznym stopniu kod numeryczny, służący do obliczeń dynamicznych. Mikroskopowe rachunki dynamiki rozszczepienia w trzech wymiarach nie były jak dotąd prowadzone. Dodatkowo planowane jest przebadanie wpływu zmiany parametrów masowych na otrzymane wyniki. Tensor masowy zostanie obliczony w oparciu o nieperturbacyjną metodę „cranking”.