

Recenzja

pracy doktorskiej mgr. Jakuba Wiśniewskiego na temat

Badanie struktury stanów wzbudzonych w jądrach z obszaru $N > 50$

Rozprawa przygotowana przez mgr. J. Wiśniewskiego pod kierunkiem promotora prof. dr. hab. Waldemara Urbana stanowi prezentację i wnikliwą analizę wyników badań eksperymentalnych dotyczących właściwości stanów wzbudzonych populowanych w jądrach pochodnych w wyniku rozpadu β jąder ^{87}Se i ^{89}Se , a także wyników pomiaru stanów wzbudzonych w jądrze ^{98}Mo w wyniku wychwytu radiacyjnego neutronów ciepłych przez jądra ^{97}Mo .

Eksperyment dotyczący badania stanów wzbudzonych w jądrach ^{87}Br i ^{89}Br przeprowadzono w Laboratorium Cyklotronowym Uniwersytetu Jyväskylä z wykorzystaniem układu IGISOL-4 połączonego z układem pułapek Penninga do produkcji i selekcji jąder, metodą zaawansowanej selekcji fragmentów rozszczepienia jąder ^{232}Th bombardowanych protonami. Badanie stanów wzbudzonych jąder ^{98}Mo powstałych w reakcji $^{97}\text{Mo}(n_{\text{th}}, \gamma)$ wykonano w Instytucie Laue–Langevina (ILL) w Grenoble z wykorzystaniem intensywnego strumienia neutronów ciepłych z reaktora ILL oraz z zastosowaniem wielodetektorowego spektrometru promieniowania gamma FIPPS.

Rozprawa napisana na 179 stronach zawiera na wstępie informacje o pięciu publikacjach, ze współautorstwem J. Wiśniewskiego, będących podstawą rozprawy. W dwóch z nich, w prestiżowym czasopiśmie *Physical Review C*, J. Wiśniewski jest wiodącym Autorem. Jest także, co zasługuje na podkreślenie, współautorem czterech publikacji w tymże czasopiśmie. Rozprawa składa się ze wstępu, dwóch obszernych rozdziałów, podsumowania, dodatków zawierających tabele ze szczegółowymi danymi dotyczącymi stanów wzbudzonych w jądrach

^{87}Br i ^{89}Br zasilanych w rozpadzie β^- , tabelę obsadzania orbitali neutronowych i protonowych w tych jądrach, a także bardzo obszerną tabelę z parametrami stanów wzbudzonych i przejść gamma w jądrze ^{98}Mo powstałym w wyniku reakcji (n_{th}, γ) . Na podkreślenie zasługuje spis odnośników literaturowych zawierający 185 pozycji.

Celem pracy było lepsze zrozumienie mechanizmów powstawania i ewolucji kolektywnego zachowania się nukleonów w wybranych jądrach atomowych przez badanie właściwości ich stanów wzbudzonych. Przeprowadzone badania pozwoliły także na dostarczenie informacji o położeniu stanów jednocząstkowych, co jest ważne dla weryfikacji ich struktury w oparciu o obliczenia teoretyczne. Szczególnie interesujący w tym zagadnieniu jest obszar jąder o liczbie masowej $A \sim 90$ powyżej zamkniętej powłoki neutronowej $N=50$.

We Wstępie rozprawy zawarte jest obszerne wprowadzenie do wspomnianych zagadnień w oparciu o najnowszą widzę teoretyczną i eksperymentalną. Pierwsze dwa rozdziały poświęcone są badaniom właściwości stanów wzbudzonych jąder ^{87}Br i ^{89}Br obsadzanych w wyniku rozpadu β^- jąder ^{87}Se i ^{89}Se , oraz wnikliwej analizie otrzymanych wyników. Bardzo zaawansowany układ eksperymentalny, który posłużył do przeprowadzenia badań, opisany jest ogólnie na początku Rozdziału 2. Analiza zarejestrowanych sygnałów za pomocą digitizerów z siedmiu detektorów germanowych wymagała oczyszczenia uzyskanych widm amplitudowych z linii tła od naturalnego promieniowania przez tworzenie macierzy koincydencji $\gamma\gamma$. Następnie dalsza analiza widm była prowadzona przez bramkowanie na liniach występujących w badanym jądrze oraz określenie wydajności poszczególnych detektorów i „zgranie” współczynników wzmocnienia dla poszczególnych traktów elektronicznych. Był to ogromny trud wymagający dużej staranności i systematyczności.

Uzyskane wyniki pozwoliły, po wnikliwej analizie, na rozbudowanie istniejącego schematu stanów wzbudzonych w jądrze ^{87}Br . Zidentyfikowano 114 nowych przejść γ oraz 51 nowych stanów wzbudzonych, wyznaczając ich intensywności z uwzględnieniem współczynników konwersji wewnętrznej dla przejść o niskiej energii. Wyznaczenie intensywności przejść z kolei posłużyło do

określenia zasilania poziomów energetycznych w rozpadzie β^- jądra ^{87}Se . Wykorzystując obliczone $\log(ft)$, czyli wartości logarytmu zredukowanych czasów półrozpadu beta i obserwowane przejścia γ , oraz w oparciu o zbadanie korelacji kątowych dla wybranych par detektorów, zaproponowane zostały spiny i parzystości stanów wzbudzonych w jądrze ^{87}Br .

Badanie stanów wzbudzonych w jądrze ^{89}Br było utrudnione ze względu na zdecydowanie niższe (50x) natężenie jonów ^{89}Se implantowanych na taśmie oraz fakt zdominowania przejść γ przez fotony emitowane przez naturalne źródła gamma. Podobnie zastosowana selekcja widm jak w przypadku jądra ^{87}Br pozwoliła na zidentyfikowanie 31 nowych przejść gamma i zdefiniowania 12 nowych stanów wzbudzonych w jądrze ^{89}Br . Wyznaczone intensywności przejść umożliwiły określenie zasilania stanów wzbudzonych w rozpadzie oraz wartości $\log(ft)$. Ze względu na małą statystykę przejść, zaproponowano wyznaczyć spiny i parzystości stanów wzbudzonych inaczej niż w oparciu o pomiar korelacji kątowych. Zgromadzone dane pomiarowe pozwoliły także na obliczenie czasu życia stanu podstawowego w tym jądrze jako 0,38(4) s, czyli zgodnego z wartością podaną w literaturze.

W dalszej części Rozdziału 2 Autor rozprawy podjął próbę interpretacji otrzymanych wyników i porównania ich z przewidywaniami obliczeń teoretycznych w oparciu o model LSSM (*Large Scale Shell Model*). Analiza dotyczyła sprzęgania się wzbudzeń jednocząstkowych i kolektywnych. Zaproponowany mechanizm sprzęgania się stanów pozwolił na zinterpretowanie w badanych jądrach większości stanów nisko leżących. Porównanie wyników doświadczalnych z przewidywaniami modelu LSSM dla ^{89}Br pokazało dobrą zgodność w odtworzeniu stanów wzbudzonych o niskich spinach, uwiarygodniając zaproponowane przez autora spiny i parzystości.

W Rozdziale 3 zostały przedstawione wyniki pomiaru efektów kolektywnych w jądrze ^{98}Mo , zawierającym wyraźnie większą liczbę neutronów w stosunku do zamkniętej powłoki $N=50$. Reakcja jądrowa $^{97}\text{Mo}(n_{th},\gamma)$ pozwala obserwować stany wzbudzone w jądrze ^{98}Mo poniżej energii wiązania neutronu. Badanie tych stanów przeprowadzono w Instytucie ILL z wykorzystaniem

znacznie rozbudowanego spektrometru gamma w stosunku do układu w Jyväskylä. Duża objętość zgromadzonych danych pomiarowych wynikająca z zastosowania wielodetektorowego (64 kryształy Ge) spektrometru oraz z dużej intensywności reakcji indukowanej przez neutrony, wymogła od Autora rozprawy opracowania nowych programów komputerowych (kodów) do analizy danych. Oprócz tego, bardzo pracochłonne było „zgranie” czasowe detektorów i zastosowanie wspólnej skali energetycznej dla wielu widm. Zastosowany układ pomiarowy pozwolił na wyznaczenie korelacji kątowych dla wybranych fotonów emitowanego w kaskadzie promieniowania γ w celu określenia połowkości przejść, a w konsekwencji wartości spinów stanów wzbudzonych. Dodatkowo, w celu wyznaczenia parzystości stanów wzbudzonych, mierzono polaryzację liniową przejść gamma wykorzystując geometrię zastosowanych zestawów detekcyjnych typu Clover. Ta złożona, trudna do analizy i uzależniona od statystyki przejść elektromagnetycznych metoda przyczyniła się do uzyskania informacji dotyczącej charakteru kilku badanych przejść, a zatem do określenia parzystości stanów wzbudzonych.

Wnikliwa analiza danych dotyczących ^{98}Mo pozwoliła zidentyfikować 712 przejść gamma oraz 148 stanów wzbudzonych, istotnie rozszerzając dotychczasowe dane spektrometryczne dotyczące tego jądra oraz weryfikując spiny i parzystości dotychczas znanych stanów wzbudzonych. Szczegółowe wyniki tej bardzo obszernej pracy analitycznej są przedstawione w podrozdziale 3.2. i w Tabeli 3.4.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że obserwowane w jądrze ^{98}Mo stany wzbudzone charakteryzują się znacznym stopniem złożoności wskazującym na różne rodzaje wzbudzeń wpływających na wzrost kolektywności. Autor rozprawy analizował strukturę stanów 2^+ z rozróżnieniem regionu o charakterze jednocząstkowym, kolektywnym oraz o stabilnej deformacji. Odniósł się także do nisko położonych wzbudzeń 0^+ sygnalizujących zjawisko współlistnienia kształtów w tym jądrze.

Rozprawa została starannie zredagowana, napisana z użyciem fachowej terminologii. Zawiera wiele rysunków i schematów rozpadu, dobrze odnoszących

się do opisywanych problemów. Nieliczne uwagi to: na s. 42 $T_{1/2}$ określone jest jako czas życia jądra; na s. 68 na Rys. 3.1a energia wzbudzenia powinna być wyrażona w [keV]; na s. 72 Autor przedstawia Tabelę 3.1 nie odnosząc się w tekście do jej zawartości, istotnej z punktu widzenia prowadzonego eksperymentu. Wreszcie, w podsumowaniu brakuje określenia wkładu własnego Autora pracy doktorskiej w przeprowadzone badania i opracowane wyniki.

Badania prowadzono w wiodących instytutach europejskich wykorzystując rozbudowane układy wielodetektorowe i systemy akwizycji danych, a uzyskane wyniki zostały rozpowszechnione w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Na szczególne podkreślenie zasługuje drobiazgowa i wnikliwa analiza wielkiej ilości otrzymanych i wyselekcjonowanych widm energetycznych promieniowania gamma w oparciu o dostępne oraz utworzone algorytmy, co pozwoliło istotnie poszerzyć dane spektroskopowe dla trzech badanych jąder.

Wyniki badań i ich interpretacja, prezentowane w pracy doktorskiej p. Jakuba Wiśniewskiego, stanowią oryginalne podejście w rozwiązywaniu problemu naukowego oraz istotnie zwiększają widzę w zakresie spektroskopii jądrowej. Wnikliwa analiza przyczyniła się do identyfikacji wielu stanów wzbudzonych z przypisaniem im spinów i parzystości, oraz wyznaczenia nowych przejść gamma. W przypadku jądra ^{89}Br stany wzbudzone populowane w rozpadzie β^- zidentyfikowano po raz pierwszy. Otrzymane wyniki były zinterpretowane w kontekście ewolucji kolektywnych zachowań nukleonów w izotonach o $N=56$.

Podsumowując, rozprawę oceniam pozytywnie. Spełnia ona ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim w Polsce. Wnoszę zatem o dopuszczenie Pana Jakuba Wiśniewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

J. Andriejewski