

2017 -07- 2 1

Prof. dr hab. Reinhard Kulesa
Zakład Fizyki Jądrowej UJ
30-348 Kraków, ul. Łojasiewicza 11

Kraków, dnia 10 lipca 2017 r.

Recenzja

Pracy doktorskiej p.t.

„Poszukiwanie efektów kolektywnych w neutrono-nadmiarowych Izotopach o $Z < 38$ ”

którą przedstawił Pan mgr Michał Czerwiński Radzie Wydziału
Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Recenzowana praca doktorska Pana magistra Michała Czerwińskiego dotyczy badania neutrono-nadmiarowych jąder leżących w pobliżu podwójnie magicznego ^{78}Ni , oraz w pobliżu przebiegu linii procesu r, czyli szybkiego wychwyty neutronów. Celem pracy było przez możliwie dokładny opis struktury badanych jąder, wysunięcie wniosków na temat ich własności kolektywnych.

Praca doktorska Pana magistra Michała Czerwińskiego została napisana w języku polskim. Zawarta jest na 140 stronach podzielonych na 6 rozdziałów zawierających 88 rysunków i 19 tabel poprzedzonych Podziękowaniem i Streszczeniem. Spis literatury zawiera 113 pozycji.

1. Uwagi ogólne

Rozdział I pracy omawia eksperymenty w oparciu o które uzyskano dane doświadczalne do analizy, oraz krótko charakteryzuje stan wiedzy dotyczący planowanego obszaru badań, a w szczególności wpływ na ten obszar przebiegającej w pobliżu linii procesu r.

Przebieg linii szybkiego wychwyty neutronów ma z pewnością wpływ na populację izotopów w tym obszarze. Przewidywania teoretyczne nie dają jednoznacznej odpowiedzi na np. kształty tych jąder, istotnie wpływających na strukturę stanów wzbudzonych poszczególnych izotopów. Obliczenia teoretyczne przewidują istnienie kształtów jąder od cygara do dysku przez deformację trójosiową.

Wyniki uzyskane na wskutek analizy danych pomiarowych pozwolą przedstawić pewne wnioski, w szczególności dla niskich energii, oraz po raz pierwszy przedstawić strukturę nowych poziomów w badanych izotopach.

W ramach rozprawy doktorskiej badano następujące izotopy; $^{86,87}\text{Se}$, $^{87,88,89}\text{Br}$, ^{88}Kr , oraz ^{90}Rb . W badaniach wykorzystywano istniejące dane pomiarowe z eksperymentów mierzących promieniowanie gamma emitowane w procesie spontanicznego rozszczepienia jąder ^{248}Cm i ^{252}Cf , przy zastosowaniu wielodetektorowych układów EUROGAM II, oraz GAMMASPHERE. Warto podkreślić, że dane z eksperymentów z poprzedniego wieku wciąż są źródłem interesujących informacji.

W celu uzyskania dodatkowych danych przeprowadzono dwa eksperymenty. W pierwszym z nich mierzono promieniowanie gamma emitowane w procesie rozszczepienia ^{235}U wywołanego zimnymi neutronami. Wykorzystano do tego spektrometr EXILL w Grenoble.

W drugim eksperymencie badano produkty rozszczepienia naturalnych tarcz U i Th bombardowanych protonami lub deutronami z cyklotronu w Jyväskylä, wykorzystując istniejące tam układy pomiarowe z separatorem umieszczonym bezpośrednio na wiązce, oraz pułapkę jonową.

istniejące tam układy pomiarowe z separatorem umieszczonym bezpośrednio na wiązce, oraz pułapkę jonową.

Uzyskane wyniki doświadczalne zostały skonfrontowane z wynikami obliczeń teoretycznych w ramach modelu powłokowego.

2. Część eksperymentalna

Jak już wspomniano, dane doświadczalne analizowane w ramach niniejszej pracy zostały uzyskane w oparciu o wielolicznikowe układy pomiarowe. Układy GAMMASPHERE i EUROGAM znane już w zeszłym stuleciu dostarczyły wiele interesujących wyników opisanych w literaturze. Znane też są parametry i możliwości tych układów. Możliwość i fakt analizy danych prawie ćwierć wieku po ich zarejestrowaniu świadczą o ich jakości.

Poszczególne detektory tych układów miały konstrukcję pozwalającą korygować mierzoną energię ze względu na rozproszenie komptonowskie. Budowa geometryczna poszczególnych detektorów umożliwiała pomiar polaryzacji liniowej promieniowania gamma, a parametry czasowe i energetyczna zdolność rozdzielcza, pozwalały mierzyć koincydencje wysokiego rzędu, łącznie z możliwością uwzględniania i wyznaczania różnych korelacji, w tym czasowych, w tym czasowych.

W pracy został omówiony układ EXILL, który powstał w ramach współpracy europejskich instytutów w celu badania struktury jąder powstających w reakcjach wywoływanych przez neutrony - wymuszonego rozszczepienia, lub wychwyt neutronu. Dane te miały uzupełnić analizowane w tej pracy wyniki pomiarów uzyskane w procesie spontanicznego rozszczepienia. Rozkład masowy produktów rozszczepienia w interesującym przedziale mas, $A = 85 - 90$, pokazuje znaczący wzrost prawdopodobieństwa populacji, w stosunku do rozszczepienia spontanicznego.

W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki uzyskane dla izotopów $^{87,88,89}\text{Br}$ i ^{90}Rb produkowanych w reakcji (n,f) na tarczy ^{235}U .

Warto wspomnieć również o czwartym źródle danych doświadczalnych analizowanych w ramach realizacji przewodu doktorskiego. Jest to znany ośrodek w Jyväskylä gdzie istnieje różnorodna i nowoczesna infrastruktura badawcza do badań spektroskopowych. W skład narzędzi badawczych wchodzi cyklotron, separator jonów na wiązce, układ spowalniania i grupowania wiązki i pułapki jonowe. Grupa warszawska zainstalowała tam zbudowany w Warszawie spektrometr promieniowania γ i β . Spektrometr γ zogniskowany jest na pomiarze niskoenergetycznych przejść z wysoką wydajnością rejestracji. Ponieważ badane jądra (w tym przypadku ^{88}Se) charakteryzują się rozpadem β , można więc było obserwować emitowane po rozpadzie β promieniowanie γ . Rys. 2.4 w recenzowanej pracy pokazuje efekty takiego pomiaru.

Należy również podkreślić, że użycie cyfrowych układów akwizycji danych umożliwia analizę danych w zależności od wielu parametrów.

3. Opracowanie danych pomiarowych

W rozdziale 3 Pan magister Michał Czerwiński omawia stosowane metody opracowania danych pomiarowych. Proces ten zaczyna się w zasadzie już w trakcie eksperymentu przez odpowiednią kontrolę stabilności układów elektronicznych. Konieczna jest kontrola fluktuacji wzmocnienia, czy niestabilności związanych z porą dnia. Metody korekcji, czy też

zgrywania wzmocnienia stosowane są od dawna. Autor opisuje w swej pracy sposób postępowania w przypadku spektrometru EXILL. Opisana procedura wsparta określonym oprogramowaniem dała wyniki w pełni zadowalające. Dotyczy to również krzywej wydajności przedstawionej na rys 3.3.

Podobne kalibracje wykonywano dla danych we wszystkich eksperymentach, których wyniki analizowano w ramach omawianej rozprawy doktorskiej.

Następnie bazując na wiedzy głównie podręcznikowej i uwarunkowań związanych ze stosowanymi układami pomiarowymi autor przedstawia zagadnienia związane z opracowaniem danych. Są to kolejno:

- Analiza koincydencji wielokrotnych,
- Analiza korelacji kątowych promieniowania γ ,
- Analiza czasów życia stanów wzbudzonych,
- Analiza polaryzacji liniowej promieniowania γ .

Każdy z tych punktów został omówiony wystarczająco dokładnie aby zapoznać się z kolejnością odpowiednich etapów z uwzględnieniem warunków wynikających z przeprowadzonego eksperymentu.

Możliwość wykorzystania poza energetycznymi wielokrotnymi koincydencjami również korelacji kątowych i korelacji polaryzacyjnych, znacznie pomogło w ustaleniu lub zaproponowaniu spinu i parzystości poziomów.

Równoczesność emisji kwantów γ w produktach rozszczepienia pozwoliło na przeprowadzanie pomiarów koincydencji krzyżowych. Pozwoliło to uściślić położenie przejść γ w schemacie rozpadu, a w niektórych przypadkach umiejscowić przejścia w konkretnym izotopie.

Z braku jakiegokolwiek wzmianki w rozprawie na temat pomiaru dyskretnych linii promieniowania β wynika, że w ramach ocenianej rozprawy nie wyznaczano współczynników konwersji.

4. Uzyskane wyniki

We wszystkich badanych izotopach, a w kilku z nich po raz pierwszy w oparciu o wspomniane metody analizy wyznaczono energie stanów jądrowych, przejść γ łączących te stany, względne natężenia tych przejść, zaproponowano wartości spinów stanów, przez które przechodziły mierzone kaskady promieniowania γ , wyznaczono współczynniki zmieszania przejść γ , potwierdzono wartości niektórych czasów życia i podano ich górne granice. Przedstawione wyniki eksperymentalne są bogato udokumentowane.

Wspomnę tutaj wyniki uzyskane dla izotopu ^{88}Br , gdyż bazują one na dwóch eksperymentach. Na podstawie danych uzyskanych w eksperymencie wymuszonego neutronami rozszczepienia ^{235}U , zidentyfikowano w oparciu o wielokrotne koincydencje γ - γ szereg nowych stanów wzbudzonych w tym jądrze i powiązano je z niskoenergetycznymi stanami poniżej 450 keV znanymi wcześniej. Posłużono się tutaj mierzonymi korelacjami czasowymi. Dla stanów poniżej 2200 keV zaproponowano w oparciu o korelacje kątowe najbardziej prawdopodobne wartości spinów i parzystości dla nowo zidentyfikowanych stanów.

Znacznie bogatszy jest schemat poziomów ^{88}Rb otrzymany przez badanie rozpadu β jąder ^{88}Se uzyskanymi w procesie rozszczepienia ^{238}U wywołanego protonami. Wyselekcjonowane jądra ^{88}Se wstrzeliwano do spektrometru β i γ . W wyniku pomiarów koincydencji γ - γ po rozpadzie β wzbogacono schemat poziomów o 15 stanów wzbudzonych i 44 przejścia γ pomiędzy nimi. Wyznaczono również poziom zasilania poziomów ^{88}Br w rozpadzie β ^{88}Se ,

oraz wyliczono wartości $\log ft$ dla szeregu obsadzanych w rozpadzie β poziomów. Wartości $\log ft$ w większości mają wartość powyżej 6, co wskazuje na I stopień wzbronienia przejść β .

Stany wzbudzone ^{87}Br i ^{89}Br badano w oparciu o reakcję rozszczepienia ^{235}U zimnymi neutronami stosując układ pomiarowy EXILL w Grenoble. W obydwu izotopach zidentyfikowano szereg nowych linii γ , łączących stany jądra, których spiny i parzystości zaproponowano w wyniku analizy korelacji kątowych. Dla szeregu przejść wyznaczono również stopień zmieszania multipolowości. Przykład analizy korelacji kątowych został zaprezentowany w rozprawie dla obydwu izotopów.

Również jako produkt wymuszonego rozszczepienia ^{235}U badano wielokrotne koincydencje promieniowania γ w ^{90}Rb . W wyniku analizy tych koincydencji, oraz korelacji kątowych można było umieścić w schemacie rozpadu tego jądra 10 nowych przejść γ , proponując dla połowy z nich również współczynnik zmieszania multipolowości δ . Próby pomiaru czasów życia niektórych poziomów nie dały pozytywnych rezultatów ze względu na szybki rozpad tych stanów. Można było wyznaczyć górną granicę czasów życia.

W przypadku parzysto – parzystych izotopów ^{88}Kr i ^{86}Se , uściślono schematy poziomów podając m.in. stosunki natężeń przejść γ . Skorygowano również spiny niektórych poziomów.

Dobrym przykładem analizy danych są zaprezentowane procedury prowadzące do zaproponowania schematu rozpadu ^{87}Se . Przeprowadzenie analizy koincydencji krzyżowych, analizy korelacji masowych wykonane dla odpowiednich produktów rozszczepienia pozwoliło skorygować błędnie podaną wcześniej przynależność przejścia o energii 886.2 keV do ^{88}Se [69] i umieścić go w schemacie poziomów ^{87}Se . Jądro to wykazuje obecność efektów kolektywnych.

Interesujący jest również wykres wartości doświadczalnych energii dwóch pierwszych poziomów wzbudzonych o spinach $5/2^+$ i $3/2^+$ w izotonach $N=53$. Widać na tym wykresie tzw. anomalię $j - 1$ zachodzącą dla konfiguracji j^3 w tym przypadku $vd_{5/2}^3$, świadczących o możliwości istnienia efektów kolektywnych.

5. Porównanie wyników doświadczalnych z obliczeniami modelu powłokowego

Obliczenia teoretyczne struktury badanych w recenzowanej pracy jąder wykonano w oparciu o model powłokowy, przyjmując jako rdzeń podwójnie magiczny izotop ^{78}Ni . Leżące w pobliżu tego jądra orbitale neutronów i protonów, wymienione są częściowo na rys. 5.1. Do wykonania obliczeń wykorzystano znane programy opracowane w Strasbourgu, przyjmując do obliczeń oddziaływania nukleon – nukleon opisane potencjałem CD-Bonn.

Dla obsadzanych w rozpadzie β izotopów ^{88}Br i ^{88}Se użyto dodatkowo skorygowanego wyników doświadczalnymi zbioru parametrów oddziaływania nukleon – nukleon.

Poza umiejscowieniem stanów wzbudzonych, wyliczono również prawdopodobieństwa przejść γ pomiędzy niskoenergetycznymi stanami. Dla ^{87}Se uzyskano wartości wskazujące na kolektywny charakter przejść E2. Wyliczony współczynnik deformacji wynosi $\beta_2 \approx 0.2$.

Obliczenia w ramach modelu powłokowego są w wielu przypadkach zadowalająco zgodne z wartościami doświadczalnymi. Zaznacza się jednak wyraźnie lepsza zgodność dla poziomów o ujemnej parzystości (np. $^{87,89}\text{Br}$).

Bardzo dobrą zgodność z wartościami obliczonymi wykazuje systematyka poziomów yrastowych przedstawiona dla liczby neutronów $N=52$. Obliczenia potwierdzają położenie poziomów 6^+ w ^{86}Se i ^{88}Kr zaproponowane w niniejszej pracy.

6. Podsumowanie

Celem recenzowanej pracy doktorskiej było badanie grupy neutrono-nadmiarowych jąder leżących w pobliżu podwójnie magicznego jądra ^{78}Ni . Jądra te produkowane były w reakcjach spontanicznego i wymuszonego rozszczepienia. W pracy wykorzystano istniejące od wielu lat dane z rozszczepienia ^{252}Cf i ^{248}Cm , oraz przeprowadzając eksperymenty w dwóch znanych ośrodkach, Grenoble i Jyväskylä, badano izotopy rubidu, kryptonu, selenu i bromu w okolicy liczby masowej $A \approx 90$.

Wszystkie eksperymenty wyposażone były w wielolicznikowe układy umożliwiające stosowanie zaawansowanych metod spektroskopii jądrowej uwzględniających wielokrotne koincydencje $\gamma - \gamma$, korelacje kątowe, koincydencje $\beta - \gamma$, pomiary czasów życia stanów jądrowych, oraz liniowej polaryzacji kwantów γ .

Cyfrowa rejestracja zdarzeń w eksperymentach pozwoliła na późniejszą obserwację różnego rodzaju korelacji pomiędzy różnymi parametrami.

Materiał zawarty w pracy jest bardzo bogaty. Zaprezentowano szczegółowo wyznaczenie charakterystyk ok. 50 poziomów energetycznych. Wiele poziomów umiejscowiono w schematach po raz pierwszy i kilka schematów zaproponowano po raz pierwszy.

W celu porównania wyników doświadczalnych z przewidywaniami modelu powłokowego wykonano obliczenia dla wszystkich badanych izotopów w oparciu o programy bazujące na potencjale nukleon-nukleon typu CD-Bonn. W oparciu o wyniki doświadczalne zawarte w rozprawie skorygowano parametry tego potencjału.

Nie wszystkie przewidziane w wyniku obliczeń teoretycznych poziomy jądrowe zostały zidentyfikowane doświadczalnie, co właściwie nie dziwi.

Ważnym osiągnięciem recenzowanej pracy jest wzbogacenie informacji o strukturze neutrono-nadmiarowych jąder w badanym obszarze, leżącym w pobliżu ścieżki procesu r , czyli szybkiego wychwytu neutronów.

W pracy opisano zarówno badania stanów yrastowych jak również stany będące wzbudzeniem układów kilku nukleonowych wynikających z orbitali obecnych w tym obszarze.

Udokumentowano anomalie w położeniu poziomów znane od lat 70-tych ubiegłego wieku związane z istnieniem multipolowych stanów j^3 .

Duża część danych zawarta w recenzowanej pracy została już opublikowana w publikacjach w wysoko notowanych czasopismach fizycznych. Autor rozprawy mgr Michał Czerwiński jest pierwszym autorem 4 z 11 cytowanych prac z Jego udziałem.

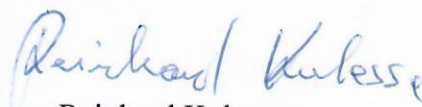
Autor rozprawy poprzez szczegółowy opis wszystkich uzyskanych danych wykazał znakomite umiejętności związane z metodami analizy danych. Wykazał się również

znajomością zagadnień teoretycznych, brał udział w modyfikacji w oparciu o uzyskane wyniki parametrów potencjału będącego podstawą obliczeń teoretycznych.

Jeśli chodzi o problematykę związaną z tematem pracy, to trzeba stwierdzić, że efekty kolektywne stwierdzono. Jako główne osiągnięcie pracy uważam jednak nowy bogaty zbiór informacji na temat struktury neutrono-nadmiarowych jąder leżących w interesującym obszarze przebiegu procesu r niedaleko podwójnie magicznego ^{78}Ni .

Oceniam recenzowaną pracę doktorską na bardzo dobrze.

Uważam, że praca ta spełnia wszelkie warunki stawiane pracom doktorskim przez ustawę i wnioskuję o dopuszczenie Pana magistra Michała Czerwińskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Reinhard Kulesa

1. Uwagi

Nie mam istotnych uwag poza tym, że w pracy napisanej w języku polskim powinno się tego języka używać, a nie posługiwać obiegowymi sformułowaniami np. angielskimi.

Przykładowo, następujące zwroty:

- Str. 20 - analizy promptowych przejść γ ,
- Str. 24 - dzięki fitowaniu,
- Str. 25 - następnie fitowano,
- Str. 29 - promptowy pik czasowy,
- czasowego piku prompt,
- Str. 30 - efektu jitter
- Str. 32 - kształty promptowych pików

Wiadomo, że „prompt” to natychmiast, szybko, jednocześnie (w granicach czasowej zdolności rozdzielczej), a „fitowanie” to dopasowanie, „jitter” to drzenie, fluktuacje, a „add-back” znaczy dodać z powrotem.

Błędów korektorskich praktycznie nie znalazłem poza dwukrotnym odnośnikiem do tej samej publikacji [75] i [113].

