

Prof. dr hab. Jan STYCZEŃ
Prof. Emeritus
Instytut Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego
Polska Akademia Nauk

Kraków, 15 lipca 2017 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr Michała Czerwińskiego

pt. „*Poszukiwanie efektów kolektywnych w neutrono-nadmiarowych izotopach o $Z < 38$* ”

Rozprawa doktorska Pana mgr Michała Czerwińskiego, Doktoranta Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, oparta jest na wynikach prac badawczych prowadzonych przez Niego w celu uzyskania możliwie najpełniejszej informacji o strukturze stanów wzbudzonych jąder $^{87,88,89}\text{Br}$, ^{90}Rb , ^{88}Kr i $^{86,87}\text{Se}$. Są to jądra, w których aktywne są orbitale protonowe $\pi p_{3/2}$, $\pi f_{5/2}$ oraz orbital neutronowy $u d_{3/2}$. Wszystkie mają 'nadmiar neutronów' w porównaniu do sąsiadujących jąder stabilnych. Leżą w bardzo ważnym obszarze, przez który przebiega ścieżka jąder tworzonych w *procesie r*. Dokładne ich zbadanie jest zatem istotne również z astrofizycznego punktu widzenia, tym bardziej, że ich struktura ciągle jest słabo poznana. Trzy spośród tych jąder: ^{87}Se , ^{88}Br i ^{90}Rb , izotony z $N=53$, mają 3 neutrony poza zamkniętą powłoką $N=50$, i liczbę protonów bliską połowy pomiędzy liczbami magicznymi $Z=28$ i $Z=50$. W związku z tym możliwe jest współistnienie efektów kolektywnych wzbudzeń, którym Autor poświęca szczególną uwagę.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Teresa Rząca-Urban.

Doktorant wykorzystywał do swoich badań dane zebrane przy użyciu wysokiej klasy wielodetektorowych spektrometrów EUROGAM II (Strasbourg) oraz GAMMASPHERE (Argonne). Źródłem tych danych były produkty ze spontanicznego rozszczepienia ^{248}Cm i ^{252}Cf , oraz produkty rozszczepienia jąder ^{235}U , wymuszonego przez zimne neutrony. Te ostatnie badania były prowadzone w Instytucie Laue-Langevin (Grenoble), gdzie do detekcji promieniowania gamma użyty został inny, nowszy wielodetektorowy spektrometr zwany EXILL. Część badań, głównie dotyczące izotopu ^{88}Br , prowadził w Jyväskylä z wykorzystaniem cyklotronu MCC30, separatora masowego IGISOL-4, pułapki jonów JYFLTRAP oraz wielodetektorowego spektrometru promieniowania β i γ , zbudowanego przez warszawską grupę spektroskopii jądrowej. Bogate dane eksperymentalne uzupełnia obliczeniami z wykorzystaniem modelu powłokowego jądra. Zastosowane zostały rozbudowane kody znane jako ANTOINE i NATHAN.

Dzięki w/w eksperymentom, bardzo zaawansowanej, kompleksowej i wyrafinowanej w dużej mierze technice i analizie danych Autor:

- a) uzyskuje istotne informacje o strukturach nieznanych dotychczas poziomów energetycznych dla wymienionych wcześniej 7. Jader,
- b) proponuje spiny i parzystości dla większości znalezionych przez siebie stanów wzbudzonych,
- c) konfrontuje wyniki eksperymentalne dla wzbudzeń w analizowanych jadrach z wielkoskalowymi obliczeniami w ramach modelu powłokowego. Prowadzi to do znacznego poszerzenia wiedzy o oddziaływaniach jądrowych oraz kolektywnych zjawiskach;
- d) koryguje dotychczas przypisany spin i parzystość $I^\pi = 6^+$ poziomom o energii 2073.0 keV w ^{86}Se i 2103.9 keV w ^{88}Kr , przypisując im wartości $I^\pi = 4^+$; natomiast spin i parzystość 6^+ proponuje ustalonym przez siebie nowym poziomom o energii 2846.0 w ^{86}Se i 3167.3 keV w ^{88}Kr ;
- e) koryguje dotychczasową wartość spinu i parzystości $I^\pi = 2^-$ dla stanu podstawowego ^{88}Br i ustala dla niego wartości $I^\pi = 1^-$,
- f) wyciąga wnioski o udziale kolektywnych efektów we wzbudzeniach w jadrach z $N = 53$, będących wynikiem sprzężenia 3 neutronów (*seniority* 3), znajdujących się na orbicie $ud_{5/2}^3$, z protonem na orbicie $\pi g_{9/2}$ w jadrach ^{88}Br oraz ^{90}Rb , albo z fononem rdzenia w izotopie ^{87}Se , w którym wylicza natężenie przejścia $B(E2: 5/2^+ \rightarrow 3/2^+)$ równe 32 W.u.; wskazuje to na znaczący parametr deformacji $\beta_2 \approx 0.2$.

Zdecydowana większość wyników przedstawionych w rozprawie doktorskiej została już opublikowana, głównie w *Physical Review C*, recenzowanym czasopiśmie o szerokim międzynarodowym zasięgu (z tzw. listy filadelfijskiej). Doktorant jest na pierwszym miejscu listy autorów, co świadczy o wiodącym Jego udziale w pomiarach, a przede wszystkim w analizie danych eksperymentalnych i interpretacji uzyskanych rezultatów.

Praca doktorska jest przejrzystą monografią, z rzetelnie ujętymi opisami przeprowadzonych eksperymentów, prowadzonych analiz, dyskusji wyników i obliczeń teoretycznych, i jest edytorsko poprawnie zredagowana. Jest podzielona na 6 rozdziałów, a kończy ją „Bibliografia”. Zawiera *de facto* 95 rysunków, w dużej mierze kolorowych, co zwiększa jej przejrzystość, oraz 20 tabel.

Pierwszy rozdział pracy stanowi Wstęp. W drugim rozdziale Autor charakteryzuje układy pomiarowe wykorzystywane w badaniach. Jako pierwszy prezentuje EXILL, który wykorzystywał do badania nisko leżących stanów wzbudzonych w jadrach $^{87,88,89}\text{Br}$ i ^{90}Rb . Został on zbudowany w 2012 r. i zainstalowany na wiązkę zimnych neutronów w Instytucie

Laue-Langevin w Grenoble do badania struktury jąder powstałych w reakcjach wychwytu i wymuszonego rozszczepienia ciężkich jąder ^{235}U i ^{241}Pu .

Szczególną uwagę poświęca spektrometrowi promieniowania β i γ , zbudowanemu przez warszawską grupę spektroskopii jądrowej bardzo niedawno, bo w 2015. Dzięki zastosowaniu cienkich węglowych okien z czoła detektorów germanowych, możliwy jest pomiar kwantów gamma o bardzo niskich energiach (do kilku keV), z bardzo dobrą zdolnością rozdzielczą. Spektrometr ten stanowi w pewnym sensie integralny, ważny element w układzie pomiarowym w Laboratorium Uniwersytetu w Jyväskylä, o czym już wcześniej wspominałem. Układem tym Autor posługiwał się w badaniach rozpadu jądra ^{88}Se do ^{88}Br . Krótko opisuje dwa wielocznikowe układy detektorów germanowych – wspomniane już wcześniej EUROGAM II i GAMMASPHERE. Analiza danych z reakcji spontanicznego rozszczepienia ^{248}Cm , uzyskanych przy pomocy pierwszego z nich posłużyła Autorowi do badania jąder ^{86}Se i ^{87}Se . Dane z reakcji spontanicznego rozszczepienia ^{252}Cf mierzone przy pomocy GAMMASPHERE Autor wykorzystał do zbadania jąder ^{86}Se i ^{88}Kr .

Bardzo ważny jest rozdział 3., w którym Autor omawia metody opracowania danych, w tym: kalibrację i przygotowanie do ich analizy, analizę koincydencji wielokrotnych, korelacji kątowych promieniowania gamma, czasów życia stanów wzbudzonych i polaryzacji liniowej promieniowania γ .

Przeprowadzona dla spektrometru EXILL kalibracja energetyczna została sparametryzowana wielomianem drugiego stopnia. Na podkreślenie zasługuje jej bardzo duża dokładność wynosząca ± 0.04 keV. Niezwykle istotna jest również kalibracja wydajnościowa w/w układu detekcyjnego. Wykonana została z użyciem wielu źródeł kalibracyjnych, danych z reakcji oraz linii pochodzących z rozpadu β produktów rozszczepień. Do wartości eksperymentalnych została dopasowana funkcja zależna od pięciu parametrów, dzięki temu Autor mógł wyliczać wydajność względną układu dla dowolnej energii przejścia gamma. Podobnie wykonana została kalibracja dla układu pomiarowego w Jyväskylä.

Analiza i rozszyfrowanie bardzo skomplikowanych i bogatych widm promieniowania gamma emitowanego z dużej ilości produktów rozszczepień wymaga zastosowania metod analizy koincydencji wielokrotnych. Tworzy się w tym celu wielowymiarowe – trójwymiarowe – macierze koincydencji przejść gamma, z różnymi przedziałami czasowymi. Dzięki temu można selekcjonować promieniowanie gamma dla wymaganych nuklidów w poszukiwaniu nieznanych stanów wzbudzonych. Autor utworzył znaczną liczbę macierzy trójwymiarowych z różnymi warunkami czasowymi, co pozwala również na analizę czasów życia stanów wzbudzonych.

Do ustalenia wartości spinu stanu wzbudzonego Autor korzysta z metody analizy korelacji kątowych promieniowania γ i szczegółowo omawia jej zasady, dokumentując wybranymi przykładami.

Pomiary czasów życia stanów jądrowych są bardzo istotnym elementem wiedzy w badaniach struktury jądra atomowego. Wykorzystywane w tej pracy wysokiej klasy układy pomiarowe pozwalały Autorowi śledzić i uzyskać informacje o długości czasów życia niektórych stanów wzbudzonych. Przedstawiona jest w sposób przejrzysty procedura analizy czasów życia, zilustrowana przykładem. Szczególnie ważne w tej analizie jest poprawne uwzględnienie aparaturowego czasu rozdzielczego układu, opisanego tu jako pik '*prompt*'. Jego kształt bardzo silnie zależy od energii kwantów gamma i prawidłowe jego określenie jest nieodzowne dla analizy. Dzisiejsza moc obliczeniowa komputerów pozwala na dokładne parametryzowanie zmierzonych dla kilku energii pików *prompt* przez opisanie ich krzywymi Gaussa. Dzięki temu możliwe jest w miarę dokładne ustalenie 'aparaturowej krzywej *prompt*' praktycznie dla każdej energii. Zależność taka jest zilustrowana w pracy na rys. 3.14.

Bardzo cenną metodą do określenia parzystości stanu jądrowego jest pomiar polaryzacji liniowej promieniowania γ . Współczesne wielolicznikowe układy detektorów germanowych, które Autor wykorzystuje w swej pracy, pozwalają na takie pomiary. Ważnym parametrem w analizie jest 'czułość' polarymetru, która została zmierzona i jest pokazana na rys.3.19. Metodę analizy kierunkowej polaryzacji przedstawia dla kaskady γ - γ w przekładowym rozpadzie ^{152}Eu , rys. 3.21.

W pracy mgr Czerwińskiego nie natknąłem się jednak na próbę pomiaru polaryzacji liniowej dla któregośkolwiek z badanych jąder?

Z eksperymentalnego punktu widzenia rozdział 4. to jeden z najważniejszych w rozprawie doktorskiej. Autor przedstawia szczegółowo wyniki dla wszystkich siedmiu zbadanych neutrono-nadmiarowych jąder. Ilustruje je pełnymi, lub wycinkami zmierzonych widm koincydencyjnych, głównie z podwójnymi warunkami na wybór energii kwantów γ , ale również (sporadycznie) pojedynczymi i potrójnymi – czyli z jednoczesnym zajęciem koincydencji z trzema wybranymi kwantami γ . Prowadzi analizę korelacji kątowych dla bardzo wielu przejść gamma i dokumentuje wybrane przypadki tablicami: i) współczynników A_2 i A_4 , ii) współczynników zmieszania δ , iii) założeń odnośnie spinów, oraz iv) wartości χ^2 , z procedury minimalizacyjnej dopasowania krzywych teoretycznych do wyników doświadczalnych. Autor prezentuje wyliczone przez siebie schematy stanów wzbudzonych i proponowane ich spiny i parzystości.

Do czasu rozpoczęcia badań przez Autora, struktura stanów wzbudzonych w ^{88}Br była znana w bardzo wąskim zakresie: jedynie kilka nisko leżących stanów, zidentyfikowanych w rozpadzie ^{88}Se . Badania tego jądra Autor wykonał w dwóch

niezależnych eksperymentach: a) w bezpośrednim śledzeniu lekkiego fragmentu rozszczepienia ^{235}U na wiązce zimnych neutronów (Grenoble), oraz b) w procesie rozpadu β^- jąder ^{88}Se , które uzyskał w innym procesie rozszczepienia - ^{238}U - wymuszonego przez bombardowanie protonami tarczy, wykonanej z naturalnego uranu (Jyväskylä). Dzięki temu otrzymał bogaty zbiór informacji o nieznanych dotąd wzbudzeniach *yrastowych* w ^{88}Br (a) oraz nie-*yrastowych* stanach wzbudzonych, obsadzanych w procesie rozpadu β^- jąder ^{88}Se (b). Dla tego ostatniego tabularyzuje właściwości przejść γ i ich dokładne energie, intensywności, a dla niskoenergetycznej części przejść – współczynniki wewnętrznej konwersji oraz zasilanie poziomów w rozpadzie β i wartości $\log ft$. Zwraca uwagę skrupulatna analiza i wyliczanie wielkości zasilania β stanu podstawowego ^{88}Br , którego znajomość jest niezbędna do określenia $\log ft$. W efekcie obu eksperymentów Autor otrzymał bogaty obraz wzbudzeń zarówno *yrastowych*, jak i nie-*yrastowych* w tym jądrze.

Chciałbym zaznaczyć, że w rozpadzie β^- ^{88}Se Autor identyfikuje aż 44 nowe przejścia γ i rozbudowuje schemat stanów wzbudzonych ^{88}Br o 15 nowych poziomów.

Dla ^{87}Br Autor bada nieznane dotychczas stany *yrastowe* w reakcji rozszczepienia ^{235}U zimnymi neutronami. Ciężkimi partnerami tego izotopu, najbardziej zasilanymi w kanałach reakcji $3n$ i $2n$ rozszczepienia, są jądra lantanu 146 i 147, w których znane przejścia γ posłużyły Autorowi w poszukiwaniu nieznanych przejść γ w ^{87}Br . W wyniku analizy widm koincydencyjnych buduje schemat stanów wzbudzonych i proponuje spiny w oparciu o analizę korelacji kątowych oraz parzystości (uwzględniając w tym celu dodatkowe informacje). Bardzo ważnym odkryciem Autora dla tego jądra jest ustalenie 'nowego' stanu podstawowego, który leży o 6,1 keV poniżej dotychczas 'znanego stanu podstawowego'.

Do czasu rozpoczęcia badań przez mgr Czerwińskiego nie było żadnych literaturowych danych o stanach wzbudzonych w izotopie ^{89}Br . Dla tego izotopu Autor przeprowadził badania w rozszczepieniu ^{235}U i przy pomocy spektrometru EXILL (Grenoble). W celu 'identyfikacji' posłużył się techniką obserwacji widm w koincydencji z ciężkim fragmentem rozszczepienia – ^{145}La w kanale reakcji z emisją 2. neutronów, oraz widm z ciężkim fragmentem (jądra Eu) z reakcji rozszczepienia ^{252}Cf . Analiza widm koincydencyjnych, pomiary korelacji kątowych w kaskadach γ - γ , oraz informacje o sąsiadujących z sobą izotopach ^{89}Rb , ^{87}Br , pozwoliły Autorowi zbudować schemat stanów wzbudzonych i zaproponować spiny oraz parzystości. Mam tu uwagę, którą zamieszczam na str. 8. recenzji.

W poszukiwaniu przejść γ z nieznanych stanów wzbudzonych w ^{90}Rb Autor wykorzystał przejścia γ emitowane z jąder ^{143}Cs i ^{144}Cs , jako najbardziej intensywnie zasilanych partnerów w reakcji rozszczepienia ^{235}U z emisją odpowiednio $3n$ i $2n$. Podobnie do wcześniej omawianych jąder, Autor buduje schemat stanów wzbudzonych jądra ^{90}Rb na

bazie analizy widm koincydencyjnych. Wartości spinów i parzystości stanów proponuje w oparciu o analizę korelacji kątowych (tablica 4.10) oraz na „dobrze udokumentowanych obserwacjach doświadczalnych”, jak stwierdza, czyli strukturze *yrastowej* obserwowanych stanów. Dla udokumentowania, że badane jądro jest izotopem ^{90}Rb , Autor wykonuje analizę korelacji masowej, która dostarcza jednoznaczny wynik.

Szkoda natomiast, że Autor nie zamieszcza widma czasowego dla poziomu 162.7 keV, ilustrującego fakt, że czas życia tego poziomu jest krótszy niż 7 ns, jak w przypadku dwóch wyżej leżących stanów? Mam obawy, że kształt widma czasowego dla przejścia 55.8 keV znacznie różni się od pokazanych widm dla energii przejść ~ 300 keV.

Stan dotychczasowej wiedzy dostępnej w literaturze, o strukturze stanów wzbudzonych w parzysto-parzystych jądrach ^{86}Sr i ^{88}Kr , budził u Autora pewne wątpliwości, szczególnie dotyczące położenia stanów $I^\pi = 6^+$ w tych jądrach. W szczegółowych badaniach, które opisuje w podrozdziale 4.6, wykorzystuje dane uzyskane z pomiarów promieniowania gamma w spontanicznym rozszczepieniu ^{252}Cf , jak i ^{248}Cm (dane ze spektrometrów GAMMASHERE i EUROGAM II).

Dogłębna analiza widm koincydencyjnych oraz natężenia przejść gamma, pozwoliła Autorowi zbudować schematy stanów wzbudzonych dla obu badanych jąder. Pomiar korelacji kierunkowych promieniowania gamma Autor prezentuje jedynie dla ^{88}Kr . Na tej podstawie proponuje spiny dla wszystkich obserwowanych w nim poziomów jądrowych. Parzystości stanów dedukuje w oparciu o informacje literaturowe, dostępne dla nisko leżących stanów oraz na ocenie czasów życia poziomów. W kilku przypadkach dementuje dotychczasowe dane literaturowe o istnieniu pewnych przejść γ , a także o usytuowaniu innych, na podstawie wspomnianego bilansu natężeń oraz swoich danych z analizy widm koincydencyjnych. Podobnie ustala schemat poziomów energetycznych dla ^{86}Se , natomiast spiny i parzystości proponuje głównie w oparciu o argument, że w reakcji rozszczepienia istnieje wyraźna tendencja zasilania stanów *yrastowych*, których wartości spinów wzrastają ze wzrostem ich energii oraz analogię do jądra wcześniej omawianego ^{88}Kr , a więc również ‘poszukiwany’ stan 6^+ . Należy podkreślić, że propozycje podane w tej pracy zostały potwierdzone ostatnio przez innych autorów.

Obszerny rozdział 4. rozprawy doktorskiej mgr Czerwiński kończy prezentacją pionierskiej obserwacji trzech stanów wzbudzonych w jądrze ^{87}Se . Potwierdzenie, że faktycznie zaobserwował wzbudzenia w ^{87}Se , uzyskał z analizy korelacji masowej dla izotopów selenu (pokazanej na rys. 4.53). Wartości spinów i parzystości proponuje w oparciu o systematykę oraz własne wyniki, których dostarczyła analiza korelacji kierunkowych promieniowania gamma. Uzyskane dane dla ^{87}Se dobrze wpisują się w systematykę stanów $5/2^+$ i $3/2^+$ w izotonach o $N=53$ (rys. 4.56). Na szczególną uwagę zasługuje w tym jądrze

pierwszy stan wzbudzony $5/2^+$, z którego prawdopodobieństwo przejścia do stanu $3/2^+$ wynosi aż 32 W.u., jak wynika z obliczeń modelem powłokowym (rozdział 5. pracy), co według Autora, świadczy o jego dużej kolektywności. Szkoda, że brak jest bezpośredniego pomiaru wartości eksperymentalnej czasu życia dla tego stanu.

Interpretację oraz szczegółowe porównanie z wynikami teoretycznymi zaobserwowanych, jak i dotychczas znanych stanów wzbudzonych w badanych przez siebie 7. izotopach Se, Br, Kr i Rb, Autor prezentuje w rozdziale 5. Przedstawia tu wyniki obliczeń, opartych o model powłokowy z uwzględnieniem przestrzeni konfiguracyjnej z pięcioma orbitalami protonowymi i pięcioma neutronowymi powyżej zamkniętych powłok $Z=28$, $N=50$. Użyte zostały realistyczne oddziaływania nukleon-nukleon z potencjału CD-Bonn i zaawansowane kody ANTOINE I NATHAN rozpracowane w Strasbourgu, o których wspomniałem na wstępie recenzji. Dla wszystkich badanych w tej pracy izotopów obliczenia wykonane były z takim samym zestawem parametrów zwanych Ni78-I, a w przypadku ^{88}Br i ^{88}Se także z nieco zmodyfikowanym zestawem parametrów Ni78-II; użyto tu najnowsze dane eksperymentalne do poprawy elementów macierzowych $V_{d5/2,p3/2}$ oraz $V_{d5/2,f7/2}$.

Należy podkreślić że wyniki obliczeń bardzo dobrze odtwarzają uzyskane przez Autora schematy stanów wzbudzonych i ich własności. Dają poprawne usytuowanie stanów $3/2^+$ i $9/2^+$ w stosunku do stanu $5/2^+$ w izotonach $N=53$, gdzie następuje systematyczne obniżanie się dla jąder o $Z<40$ energii stanu $3/2^+$, który schodzi poniżej energii stanu $5/2^+$, stając się stanem podstawowym, jak w pioniersko zbadanym przez Autora ^{87}Se . Wyjaśnia to tzw. „anomalie j-1”, która nie była odtwarzana we wcześniejszych rachunkach modelem powłokowym. Obliczone przez Autora funkcje falowe dla ^{87}Se wykazują zwiększenie sprzężenia fononu 2^+ rdzenia z konfiguracją j_n a przez to wzrost kolektywności i duże prawdopodobieństwo przejść $B(E2)$ w tym jądrze.

Podobnie w jądrze ^{88}Br rachunki dobrze odzwierciedlają strukturę stanów wzbudzonych obserwowanych w eksperymencie. Potwierdzają obecność multipletu, który jest wynikiem w/w anomального sprzężenia j-1 protonu $\pi g_{9/2}$ z konfiguracją o *seniority* 3. trzech neutronów $(ud_{5/2})^3$, co świadczy o ich kolektywnym charakterze. Również w jądrze ^{90}Rb interpretuje autor efektem anomального sprzężenia j-1 obserwowane przez niego stany o dodatniej parzystości (o spinach 5, 6 i ewentualnie 7), które potwierdzają rachunki z modelem powłokowym. Jednak wynik eksperymentalny jest niezbyt dobrze udokumentowany.

W czasie czytania rozprawy doktorskiej mgr Macieja Czerwińskiego zaobserwowałem pewne niedociągnięcia (kilka drobnych uwag podałem w tekście):

1. Autor nie ustrzegł się drobnych błędów edytorskich jak np. przestawienia cyfr w podawanych energiach przejść γ , str. 61, 63, 123, czy energia pierwszego stanu w zbudzonego w ^{89}Br ;
2. W opisie Tablicy 4.1, str.44, czy Tablicy 4.5. str. 63 (również w opisach dalszych tablic), uważam za niepoprawne sformułowanie; „.....Względne intensywności przejść, I_γ podane są w jednostkach arbitralnych.....Punktem odniesienia jest względna intensywność przejścia γ o energii 158.9 keV (663.0 keV) wyznaczona jako 100”. Moim zdaniem winno być: „.....Natężenia przejść, I_γ podane są w jednostkach względnych, w odniesieniu do natężenia przejścia γ o energii 158.9 keV (663.0 keV), przyjętego jako 100” .
[Wartość arbitralna '100' nie jest obarczona błędem, natomiast wszystkie inne wartości natężeń są obciążone błędami];
3. a) Cały szereg podanych widm, obserwowanych z warunkiem jednoczesnej koincydencji z dwoma przejściami γ , należącymi do badanego jądra (nazywane przez Autora 'z podwójnym bramkowaniem'), nie ma pełnej identyfikacji linii, pojawiających się w koincydencji?
b) Natomiast brak jest wyjaśnienia, dlaczego w widmie koincydencyjnym (rys. 4.15) z bramką na liniach 223.0 i 572.9 keV nie widać przejścia 871,5 keV, a winno być w koincydencji. Pojawia się natomiast w widmie koincydencyjnym z przejściami 762.2 i 801.5keV (rys 4.16a)?
c) Zaś w widmie na rys. 4.16b widoczne są przejścia γ , które nie powinny się pojawić, zgodnie z proponowanym schematem?
4. Brak wyjaśnienia na str. 73-74, dlaczego zaobserwowanie przejść γ - jakie Autor przypisuje izotopowi „ ^{89}Br ” w reakcji rozszczepienia wymuszonego ^{235}U - w widmie rozszczepienia spontanicznego ^{252}Cf jednoznacznie definiuje, że faktycznie badanym jest jądro ^{89}Br . A tym bardziej w świetle uwagi Autora odnośnie jąder $^{163,164,165}\text{Eu}$, które są w tej ostatniej reakcji ciężkim partnerem ^{89}Br :
...”Dotychczas nie są znane żadne informacje dotyczące struktur energetycznych jąder $^{163,164,165}\text{Eu}$ populowanych w głównych kanałach reakcji wraz z ^{89}Br ”. A przecież te jądra wykorzystuje do „identyfikacji” ^{89}Br ?
5. Nie jestem przekonany do słuszności stwierdzenia Autora na str. 96, wiersz 6. od góry (por. również rys.4.): „Biorąc pod uwagę, że dwa blisko siebie stany, jakimi są poziomy 3161.0 i 3167.3 keV, nie powinny mieć takich samych wartości spinów i parzystości...”. Można znaleźć przykłady, że taka możliwość istnieje, pomimo założenia, że stany są typu *yrast*.

Poza pierwszymi dwiema uwagami, pozostałe są raczej pytaniami i w żadnym stopniu nie obniżają bardzo wysokiego waloru rozprawy doktorskiej Pana mgr Michała Czerwińskiego.

W podsumowaniu pragnę stwierdzić, że Doktorantowi należą się słowa szczególnego uznania za spójną i dogłębną prezentację tematyki i bardzo obszernych wyników uzyskanych z badań struktury jąder z nadmiarem neutronów. Uważam, że przedstawiona przez Pana Michała Czerwińskiego rozprawa jest dużym Jego dziełem, w którym ukazuje pełną dojrzałość fizyka eksperymentatora, znajomość podstaw teoretycznych i aktualnego stanu badań spektroskopowych w obszarze jąder, których dotyczy praca.

Rozprawa dostarcza bardzo wartościowych danych ważnych w badaniach struktury jądra atomowego – w dużej mierze nowatorskich ustaleń schematów stanów wzbudzonych 7. jąder. Uzyskane przez siebie dane eksperymentalne Autor interpretuje i porównuje z obliczeniami teoretycznymi. Wszystkie te rezultaty stanowią oryginalny i trwały wkład w światowe badania struktury jądra atomowego.

Uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa Pana mgr Michała Czerwińskiego spełnia wszelkie warunki stawiane przy dysertacji doktorskiej i wnoszę o dopuszczenie Go do dalszych etapów przewodu doktorskiego, oraz proponuję wyróżnienie tej rozprawy



Uzasadnienie dot. wyróżnienia

Praca mgr Czerwińskiego jest wybitnym dziełem. Zawiera olbrzymi materiał doświadczalny o nieznanych dotychczas stanach wzbudzonych dla 7. Jąder z nadmiarem neutronów, $^{87,88,89}\text{Br}$, ^{90}Rb , ^{88}Kr i $^{86,87}\text{Se}$ a w przypadku ^{87}Se o zupełnie nieznanych wzbudzeniach. Dostarcza interpretacji tych stanów, przez konfrontację z wielkoskalowymi obliczeniami w ramach modelu powłokowego. Przedstawia nowe dane o stanach wzbudzonych 6^+ w jądrach ^{86}Se i ^{88}Kr i dementuje dotychczas ustalone wartości, przypisując im spin i parzystość 4^+ . Ustala nową wartość spinu i parzystości stanu podstawowego ^{88}Br jako 2^- , w miejsce dotychczas przyjętej wartości $I^\pi=1^-$. W oparciu o swoje dane i przez porównanie z teorią wyciąga wnioski o udziale wzbudzeń kolektywnych w badanych jądrach.

