



Warszawa, 04.06.2018

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł: „Badanie rozkładu mas fragmentów rozszczepienia”

Autor: mgr Anna Zdeb

Promotor: dr hab. Michał Warda, prof. UMCS

Celem przedłożonej dysertacji jest wyznaczenie rozkładów mas fragmentów powstających w wyniku rozszczepienia jąder ciężkich. Autorka analizuje mechanizmy kolektywne odpowiedzialne za podział nukleonów pomiędzy jądrami powstającymi w wyniku tego procesu. Przeprowadzono także czasochłonne i skomplikowane numerycznie rachunki dynamiczne wykorzystujące samozgodne, mikroskopowe podejście typu HFB. Badano jądra: 252Cf, 256Fm, 180Hg, 258Fm, 240Pu. Wybór jąder jest bardzo trafny i pozwolił doktorantce w sposób przejrzysty przedyskutować różne mody rozszczepieniowe oraz związane z nimi efekty fizyczne.

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z dwu autorskich, oryginalnych rozdziałów poprzedzonych wstępem i podsumowanych. Bibliografia jest umieszczona na końcu i jest kompletna.

We wstępie recenzowanej pracy omawia się pokrótce i syntetycznie istniejące różne teoretyczne próby odtworzenia eksperymentalnie znanych rozkładów mas. Czytelnik orientuje się, że choć podjęty temat nie jest nowy to istniejący stan wiedzy trudno uznać za zadowalający i rozumie, że każdy nowy tego typu rachunek jest bardzo pożyteczny.

W swoim doktoracie Pani Anna Zdeb podjęła się właśnie tego ambitnego i niełatwego zadania tj. przeprowadzenia rachunków rozszczepieniowych jąder ze stanów nisko i wysoko wzbudzonych.

W rozdziale pierwszym przypomniano podstawowe fakty dotyczące samozgodnej metody HFB, opisano sposób wyznaczania konfiguracji przed-rozszczepieniowej i przedyskutowano mechanizm przypadkowego rozerwania szyjki. Zastosowanie tej makroskopowej metody Brosy pozwoliło otrzymać bardzo dobrą zgodność rozkładów mas fragmentów dla 256Fm i 252Cf. Dla jądra rtęci $A=180$ wzięto eksperymentalną wartość energii wzbudzenia i także nieźle odtworzono najbardziej prawdopodobne masy fragmentów. Niestety szczegóły rozkładów takie jak ich wysokości i szerokości odbiegają od tych pomierzonych. Najbardziej wymagającym przypadkiem okazał się 258Fm. Uzyskane maksimum jest zdecydowanie za wąskie a w rozkładzie uwidoczniły się dodatkowe nieobserwowane maksima.

We wszystkich przypadkach teoretyczne rozkłady są systematycznie węższe niż mierzone. Ciekawa jest przeprowadzana dalej analiza ujęcia doliny rozszczepieniowej i jej wpływu na otrzymane wyniki. Autorka zauważa że; „... fragmentacja z lekką asymetrią masową jest niemalże równie prawdopodobna jak symetryczny podział jądra...” i dalej „...że jeśli włączyć do opisu również inne punkty rozerwania, rozkład ulegnie poszerzeniu...” w końcu pisze o konieczności przeprowadzenia rachunków dynamicznych.

I właśnie rozdział drugi poświęcony jest tego typu rachunkom. Posłużono się w nim zależną od czasu metodą współrzędnej generującej. Mapy powierzchni energetycznych, tak jak poprzednio, wyznaczono w oparciu o funkcjonal gęstości typu Gogny [34]. Parametry masowe otrzymano w przybliżeniu „cranking”. Uzyskano spektakularny wynik pokazany na rysunku 3.10 gdzie złożenie efektów dynamicznych (tj. zsumowanie wkładów cząstkowych pokazanych na rysunku 3.9) i makroskopowych daje znakomitą zgodność rozkładu mas fragmentów rozszczepienia ^{240}Pu .

Za bardzo ciekawe i oryginalne uważam analizy wpływu parzystości stanu początkowego na rozkłady mas, podobnie analizy dla zmieszanych pakietów falowych. W ^{252}Cf ostateczny kształt rozkładu mas fragmentów rozszczepieniowych praktycznie nie zależy od parzystości pakietu falowego jak i od jego energii wzbudzenia. Pokazano też, że czas propagacji pakietu falowego nie ma właściwie wpływu na kształt rozkładu mas. Nie zależy on także od doboru wag statystycznych w pakietach mieszanych. Jedyne co się obserwuje to nieznaczne poszerzenia rozkładów bez zmiany pozycji maksimów.

Równie interesujące są rachunki dla dwu sąsiednich izotopów ^{256}Fm i ^{258}Fm . Różnice w modach rozszczepieniowych jak zwykle tłumaczy się występowaniem drugiej bariery (^{256}Fm) lub jej brakiem (^{258}Fm). Tu jednak nie tylko analizowano statycznie topografię map energii potencjalnych ale przeprowadzono rachunek dynamiczny z wykorzystaniem metody Brosy. W przeciwieństwie do ^{252}Cf w izotopach fermu stany odmiennej parzystości dają zupełnie różne rozkłady. Dodatnie propagują się chętniej w kierunku masowo symetrycznym a ujemnie w kierunku masowo asymetrycznym. W ^{256}Fm wraz ze wzrostem energii wzbudzenia stanów parzystych (nad-barierowych) prawdopodobieństwo podziału symetrycznego wzrasta i ten wynik jest zgodny z obserwacją. W ^{258}Fm stany pod- jak i nad-barierowe preferują rozszczepienie symetryczne gdy mają parzystość dostania i asymetryczne gdy mają przeciwną parzystość.

Praca napisana jest w sposób przemyślany: zwięźle, klarownie i bez zbędnych ozdobników. Czytałem ją z dużą przyjemnością. Proporcje między rozdziałami są zachowane.

Moim zdaniem niektóre bardzo intrygujące i interesujące wnioski mogłyby być nieco wyraźniej wyeksponowane i dobitniej podkreślone!

Odnótowałem znikomą ilość błędów typograficznych („*niemal że*” – str. 56 „*mas. z kolei*” – str. 51;) oraz moim zdaniem niefortunnych sformułowań; str. 8 – „...*predykatywnej teorii*...”; str. 50 – w opisie rysunku 3.15 „*kontrybucja*”; str. 56 – „*rozszczerzenia indykowanego*”.

Błędy i przytoczone potknięcia językowe w żadnej mierze nie umniejszają jakości recenzowanego materiału.

UWAGI KRYTYCZNE/PYTANIA

1. Zasadnicza uwaga dotyczy treści całego doktoratu i jest ona związana z faktem, z którego doktorantka wydaje się zdawać sobie dobrze sprawę. Píše o tym na samym końcu swojego doktoratu oraz na stronie 14 i 15.

a) Otóż, nie wiadomo, czy brak multipoli wyższego rzędu, szczególnie heksadekapolowego, nie jest źródłem błędnego określenia preferowanych konfiguracji przed-rozszerzeniowych (co jest tu przecież kluczowe) i tym samym mylnego rozpoznania rozdziału nukleonów pomiędzy fragmenty rozszerzeniowe. Uwzględnienie dodatkowych wymiarów może otworzyć, nieobecne w ubogiej dwuwymiarowej przestrzeni kolektywnej, kanały rozszerzeniowe i zmienić istotnie krajobraz na mapach energii potencjalnej. Pojawienie się nowych, niewidocznych wcześniej „dolin” i „przełęcz” a likwidacja „klifów” rozszerzeniowych zmienia radykalnie definicje linii przed-rozszerzeniowej a w konsekwencji uzyskane rozkłady mass fragmentów oraz czasy życia. Dodatkowy wymiar znosi bowiem nieciągłość widoczną na mapach energii potencjalnej.

Bardzo pomocne jest zastosowanie metody z pracy [51] opartej na śledzeniu zmian gęstości przestrzennej. Na stronie 19 napisano: „*Wynika stąd, że ostatni punkt, poprzedzający tę gwałtowną zmianę, jest konfiguracją przedrozszerzeniową.*” Problem w tym, że punkt ten może wcale nie istnieć lub może on leżeć zupełnie gdzie indziej na mapie energetycznej, jeśli dodać kolejny wymiar o którym mowa! Powstaje zatem pytanie: co tu jest jeszcze prawdziwym efektem fizycznym a co już wynikiem niedostatku metody?

b) Nie rozumiem w tym kontekście także stwierdzenia ze strony 15 gdzie doktorantka pisze: „*Zarówno ich kształty, jak i (co ważniejsze) masy wynikają z zagwarantowanego procedurą numeryczną*”

spełnienia warunku minimalizacji energii układu, nie są więc wprost konsekwencją przebiegu procesu fizycznego...” Sam sens tego zdania jest dla mnie nieuchwytny. A jeśli chodzi o proces rozszczepienia to przebiega on przez widoczne na mapach (w różnych rzutach) punkty siodłowe, **które jak wiadomo nie są minimami!** Dobrze wiadomo także, że metoda minimalizacji nie gwarantuje ciągłości i gładkich przejść między dolinami.

- c) Niewątpliwie kluczowe jest sprzężenie (jednoczesne uwzględnienie) zmiennej oktapolowej i zmiennej heksadekapolowej. Co sprawia, iż wierzy się, że kolejne wymiary można pominąć w takiej analizie i że efekty o których tu mowa w kontekście momentu heksadekapolowego nie będą miały miejsca i w wyższych wymiarach, szczególnie przy tak dużych deformacjach jądrowych z jakimi mamy tu do czynienia?
2. Kolejna uwaga ma także ogólny charakter i dotyczy słuszności zastosowania metody HFB dla stanów silnie wzbudzonych takich jak te rozważane w przedstawionej pracy.
- a) Użyta metoda oparta na zasadzie wariacyjnej znakomicie nadaje się do rachunków własności stanów podstawowych jąder atomowych. Na jakiej podstawie jednak używa się jej do stanów tak wysoko wzbudzonych? Jak wygląda zasada wariacyjna dla tych stanów?
- b) Parametry funkcjonału gęstości (D1S) były dopasowane do niskoenergetycznych własności jądrowych i dlatego jak słusznie moim zdaniem napisano: *„Zestaw D1S okazał się być odpowiedni do opisu niskoenergetycznych procesów jądrowych i pozwala odtworzyć z dobrą dokładnością główne charakterystyki rozszczepienia”*. Czy dopasowywano tu parametry funkcjonału do wybranych własności stanów wzbudzonych na nowo? Jeśli tak, to które z nich i jak wyglądał protokół fitu? Jeśli nie, dlaczego uważa się, iż z tym samym zestawem parametrów (jak dla stanów podstawowych) można będzie odtworzyć własności stanów tak wysoko wzbudzonych?
3. Uwagi i pytania szczegółowe:
- a) Na stronie 13 napisano: *„Badania wpływu trójosiowości w opisie procesu rozszczepienia wykazały, że istotne modyfikacje przebiegu ścieżki najmniejszego działania obserwuje się jedynie w okolicach bariery [42].”* A dalej na stronie 17: *„Badania wykazały, że większość podstawowych własności tworzących się jąder jest już dobrze określona na etapie ewolucji kształtu począwszy od konfiguracji jądra w punkcie siodłowym[49,50].”* Jak wiadomo bardzo wiele jąder wykazuje silny efekt trójosiowości szczególnie na

w pierwszym siodle. W niektórych fermach dla przykładu drugie siodło w ogóle nie występuje i to pierwsze ma dlatego znaczenie zasadnicze. Dlaczego więc nie uwzględniono tego parametru?

- b) Przepis na całkowanie (strona 20) dający kształt i rozmiar fragmentów jest niespójny z rysunkiem 2.5 ze strony 21 (oznaczenia: „wewn”, „zewn” oraz indeksy „1”, „2”).
- c) Współczynnik napięcia powierzchniowego wypisany dla jadra złożonego na stronie 25 nie ma jednostki. Powinno być chyba $\text{MeV}/(\text{fm}^2)$.
- d) Strona 41; Obliczona bariera na rozszczepienia dla ^{240}Pu ma wysokość 9.98 MeV podczas gdy eksperymentalna to 5.8 MeV. Czyli różni się o około 40%. Czy, w kontekście konieczności sztucznego przedłużania tu potencjału w celu zbudowania odpowiedniej ilości stanów w studni, martwi to Autorkę?
- e) Wielokrotnie, także we wcześniejszych pracach wskazywano na duże znaczenie pairingu w procesie rozszczepienia. Ta debata ożyła ostatnio. Jaką rolę dla przedstawionych tu wyników odgrywa oddziaływanie „pairing”?
- f) Po co używać prymitywnego przepisu dla wyznaczenia temperatury (we wzorze 2.9) mając dostęp, w każdym punkcie powierzchni energetycznej, do mikroskopowej gęstości stanów na poziomie HFB; w oddziaływaniu Gogny ? Tym bardziej, że w oryginalnej pracy Brosy [27] występuje współczynnik 8 (ta wielkość jest typowa dla parametru gęstości stanów) nie 12 jak we wzorze na temperaturę, Czynniki te mnoży pod pierwiastkiem energię wzbudzenia i za chwilę w funkcji exp. wyznacza prawdopodobieństwo rozerwania szyjki! Skąd i dlaczego wzięto te wartości tu w doktoracie?

Dorobek publikacyjny Pani Anny Zdeb to 11 artykułów opublikowanych w pismach o zasięgu międzynarodowym. Dwie prace opublikowano w prestiżowym Physical Review C. Podkreślić należy, że większość materiału zawartego w doktoracie zostało już opublikowane. Chcę też zauważyć, że kilka prac dotyczy zupełnie innej tematyki, mianowicie: emisji protonów, cząstek alfa i lekkich klastrow z jąder atomowych. Uznać należy ten dorobek za istotnie przekraczający przeciętny.

Pani Zdeb doskonale opanowała skomplikowane metody numeryczne niezbędne do przeprowadzenia tego typu badań. Miałem też okazję wielokrotnie słyszeć znakomite wykłady doktorantki na międzynarodowych szkołach i konferencjach. Mam jasny obraz osoby naukowo dojrzałej, krytycznej wobec własnych wyników z jednej strony a pełnej entuzjazmu do podejmowanych działań i pracowitości z drugiej.

Stwierdzam, że praca pt. „*Badanie rozkładu mas fragmentów rozszczepienia*” spełnia wszystkie wymogi aktualnie obowiązującej ustawy o „Stopniach i Tytule Naukowym z dnia 14 marca 2003r.” i wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Jednocześnie, biorąc pod uwagę wysoki poziom przedłożonej pracy oraz dorobek naukowy Autorki, stawiam wniosek o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Warszawa, 04.06.2018

NARODOWE CENTRUM BADAŃ JĄDROWYCH
Zakład Fizyki Teoretycznej
00-681 Warszawa, ul. Hoża 69
Tel./Fax 22-621-60-85

KIEROWNIK ZAKŁADU
Fizyki Teoretycznej
Narodowego Centrum Badań Jądrowych
Michał Kowal
dr hab. Michał Kowal, prof. NCBJ