



UNIVERSITY
OF WARSAW

Heavy Ion Laboratory



Prof. dr hab. Krzysztof Rusek

Warszawa, 12.03.2024

Recenzja pracy doktorskiej pana Jose Marin Blanco p.t. „Study of Spontaneous Fission of Actinide and Super-Heavy Elements”

Praca doktorska powstała w Katedrze Fizyki Teoretycznej Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Jest to od lat jeden z największych i najlepszych w kraju ośrodków teoretycznej fizyki jądrowej. To tu pracują wybitni fizycy, by wspomnieć tylko profesora Krzysztofa Pomorskiego, zajmujący się m.in. strukturą i rozszczepieniem ciężkich (i super-ciężkich) jąder atomowych. Jednym z najbardziej znanych osiągnięć jest wersja modelu kropłowego, znana jako Lublin-Strasbourg Drop (LSD), model szeroko stosowany w fizyce jądrowej.

W swej pracy doktorskiej Pan Jose Marin Blanco zajmował się obliczeniami rozkładów energii potencjalnej jąder atomowych od $Z=90$ do $Z=120$, w zależności od ich kształtu. Takie mapy powierzchni ekwipotencjalnych pozwoliły na wyznaczenie m.in. wysokości barier na rozszczepienie a także ustalenie możliwych ścieżek prowadzących do rozszczepienia. Dla części z tych jąder, o liczbie atomowej od $Z=90$ do $Z=110$, wyznaczył półokresy spontanicznego rozszczepienia. Część wyników przedstawionych w pracy doktorskiej została opublikowana w dwóch publikacjach:

Krzysztof Pomorski et al., Chinese Physics C 45, 054109 (2021),

J. Marin Blanco et al., Phys. Rev. C 108,044618 (2023).

Pierwsza z nich ma już 10 cytowań (baza SCOPUS), co jest bardzo dobrym osiągnięciem.

Półokresy rozszczepienia jąder parzysto-parzystych z obszaru $Z=90$ do $Z=110$ były liczone w przeszłości. Tak więc na pierwszy rzut oka ta, moim zdaniem najciekawsza, część pracy może się więc wydawać naukowo nieatrakcyjna. Należy jednak pamiętać iż dynamiczny rozwój komputerów bezustannie zwiększa możliwości obliczeniowe pozwalając na coraz lepsze modelowanie procesów rozszczepienia, stąd też tego typu obliczenia są ciągle prowadzone i przynoszą wyniki coraz bliższe rzeczywistości. Mała zmiana parametrów modelu może prowadzić do różniących się o rzędy wielkości półokresów rozszczepienia.

Metoda zastosowana w obliczeniach oparta jest o standardowy model makroskopowo-mikroskopowy. Energie jąder atomowych związane z ich deformacjami wyliczono na podstawie wspomnianego modelu LSD uwzględniając poprawki powłokowe (model Strutinskiego) oraz poprawki wynikające z sił pairing (model BCS). Mając wyznaczone mapy

powierzchni ekwipotencjalnych w funkcji deformacji wyznaczono ścieżki najmniejszego działania, a następnie biorąc pod uwagę zmieniający się z deformacją tensor masy danego jądra i wykorzystując metodę WKB policzono półkresy rozszczepienia jąder o $Z=90$ do $Z=110$.

Praca napisana jest w języku angielskim, składa się z trzynastu rozdziałów i trzech dodatków, i liczy 126 stron. Spis literatury nie zawiera podstawowej publikacji, której doktorant jest pierwszym autorem (PRC 108, 044618). Widocznie manuskrypt pracy powstał wcześniej. Jest w nim trochę błędów redakcyjnych. Już na stronie tytułowej pojawia się niepewność co do tego kto był promotorem, a kto promotorem pomocniczym pracy. Także użyta angielska nazwa Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej odbiega od oficjalnej. Jednak są to drobne wady, nie decydujące o jakości pracy, i nie będę ich w recenzji wymieniał.

Po wyczerpującym wprowadzeniu, rozdział drugi poświęcony jest przedstawieniu standardowego modelu kropłowego. Zawiera podstawowy wzór na energię wiązania (2.10) a także wartości występujących w nim parametrów (2.14,2.15). Tu uwaga – które z wypisanych wielkości są parametrami modelu? Następnie poznajemy modyfikację tego modelu czyli model LSD, z jego wzorem na energię wiązania, która zmienia się wraz z deformacją jądra, którą z kolei opisano przy pomocy tylko czterech parametrów wykorzystując transformację Fouriera. Taka parametryzacja kształtu jądra wydaje się być jednym oryginalnych pomysłów przedstawionych w dysertacji. . Bariera na rozszczepienie to różnica między energią stanu podstawowego jądra a energią jądra zdeformowanego, które ulega spontanicznemu rozszczepieniu.

Rozdział piąty przedstawia jednocząstkowy model, potrzebny do policzenia poprawek powłokowych, zaś w rozdziale szóstym dyskutowane są oddziaływania pairing. Jedne i drugie bardzo znacząco modyfikują energie wiązania wynikające z modelu kropłowego, jak pięknie zilustrowano na Rysunku 7.1. Szkoda, że nie podano jakiego izotopu ten rysunek dotyczy. Wykorzystując standardową wielkość natężenia sił pairing (pairing strength G) wyznaczono mapy powierzchni ekwipotencjalnych (rozdział dziewiąty) dla pierwiastków $Z=90-110$.

Ciekawym wynikiem jest znalezienie zależności parametru G (oddzielnie dla protonów i neutronów), dla jąder o $Z=90-100$, od ich liczb A , Z , N , przedstawione w rozdziale dziesiątym. W tym celu dopasowano eksperymentalne wartości przerw energetycznych (pairing gaps, wynikające z energii wiązania) do wartości wyliczonych (model BCS). Rysunek 10.1 przedstawia porównanie policzonych i eksperymentalnych przerw. Ciekawym przypadkiem są izotopy Th, dla których policzone wartości przerw dla neutronów bardzo różnią się od eksperymentalnych. Chętnie usłyszę na obronie komentarz dotyczący tej różnicy.

Wykorzystując tę drugą wartość G wyznaczono ponownie mapy powierzchni ekwipotencjalnych dla pierwiastków $Z=90-110$, ale też dla cięższych, do $Z=120$. Rysunek 11.1 przedstawia porównanie eksperymentalnych wartości barier dla aktynowców z wartościami policzonymi przy wykorzystaniu dwóch różnych sił pairing (parametrów G). Zależność wyników od wyboru sił pairing nie jest duża, ale zauważa się sporą rozbieżność między obliczeniami a wartościami doświadczalnymi dla plutonu i kalifornu. Zestawienie tej rozbieżności z faktem, że obliczone półokresy rozpadu dla tych pierwiastków nieźle odtwarzają dane doświadczalne (Rysunek 13.3) jest trudne do zrozumienia, bowiem generalnie uważa się, że wysokość bariery ma decydujący wpływ na proces rozszczepienia. Chciałbym usłyszeć interpretację tego efektu podczas obrony.

Mapy powierzchni ekwipotencjalnych posłużyły do wyznaczenia ścieżek najmniejszego działania. Następnie, biorąc pod uwagę zmieniający się z deformacją tensor masowy danego jądra i wykorzystując metodę WKB policzono półokresy rozszczepienia jąder o $Z=90$ do $Z=110$, co przedstawiono rozdziale 13. Wydaje się, że użyty w obliczeniach tensor masowy był też ważną innowacją tej pracy, jednak autor nie przedstawił jego definicji (wzoru).

Można domniemywać, że celem pracy było m.in. uzyskanie lepszej zgodności policzonych półokresów rozpadu z danymi eksperymentalnymi niż to miało miejsce w poprzedzających publikacjach. Niestety praca nie zawiera takiego porównania. Trudno tego dokonać samodzielnie, bo praca nie zawiera numerycznych wartości półokresów rozpadu, przedstawia je tylko graficznie na Rysunku 13.3. Porównując jednak wyniki dla izotopów rutherfordu przedstawione na tym rysunku z wynikami uzyskanymi w pracy R. Smolańczuk, J. Skalski, A. Sobiczewski, Phys. Rev. C 52 (1995) 1871 odnoszę wrażenie, że te ostatnie lepiej opisują dane doświadczalne. Chętnie usłyszę komentarz pana Blanco na ten temat podczas obrony.

Czytając manuskrypt zabrakło mi szerzej wyjaśnionej motywacji tych badań. Czemu czasy życia wyznaczono tylko dla izotopów o $Z=90-110$? Czy wyniki uzyskane dla pozostałych jąder (mapy powierzchni ekwipotencjalnych) będą kiedyś wykorzystane? Czy półokres spontanicznego rozpadu pierwiastka o $Z=120$ nie jest interesujący?

Pan Blanco zbyt skromnie pisze o swojej roli w przeprowadzonych badaniach. Brał w nich udział mały zespół teoretyków, pojawia się więc pytanie co było głównym wkładem doktoranta do tego projektu? Czy tylko obliczenia map powierzchni ekwipotencjalnych? Czy oprócz używania istniejącego oprogramowania stworzył też własne kody? Mam nadzieję, że podczas obrony pan Blanco bardziej szczegółowo przedstawi swój udział w tym projekcie.

Podsumowując, pan Jose Martin Blanco wykonał ogromną pracę wyznaczając mapy powierzchni ekwipotencjalnych dla paruset jąder atomowych, od $Z=90$ do $Z=120$. Część z tych

wyników (od $Z=90$ do $Z=110$) wykorzystał do wyznaczenia półokresów rozszczepienia tych jąder. Jest to najciekawsza część pracy, bowiem wyniki obliczeń można porównać z doświadczeniem. Rezultaty zostały opublikowane w bardzo dobrym, recenzowanym czasopiśmie naukowym Physical Review C. W pracach uczestniczył cztero-osobowy zespół, jednak to pan Jose Marin Blanco jest pierwszym autorem tej publikacji co oznacza, że jego rola w tych badaniach była wiodącą. Uważam, że jest on dobrze przygotowany do prowadzenia samodzielnych badań, a przedstawiona rozprawa spełnia wymagania stawiane w ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym z dnia 20 lipca 2018 roku. Wniosuję o dopuszczenie pana Jose Marin Blanco do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.



Krzysztof Rusek