INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Dr hab. Piotr Bednarczyk,
profesor IFJ PAN.

Kraków, 03.01.2022

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Amelii Kosior-Romanowskiej pt.:

„Teoretyczny opis parzysto-parzystych supercięzkich jąder atomowych z wykorzystaniem metody Hartree'ego-Focka-Bogolubowa z jądrowym funkcjonałem gestosci Skyrme'a"

Przedstawiona do oceny praca doktorska Pani mgr Amelii Kosior-Romanowskiej została wykonana w Katedrze Fizyki Teoretycznej UMSC w Lublinie pod kierunkiem profesora Andrzeja Staszczaka.
Temat pracy wpisuje się w kluczowy dla współczesnej fizyki jądrowej nurt badań nad określeniem granicy stabilności najcięższych nuklidów oraz własności ich stanów wzbudzonych. Wybór tematu pracy i miejsca jej realizacji był niewątpliwie konsekwencją wieloletniej aktywności teoretyków z UMCS, w tym promotora pracy, w dziedzinie teoretycznych badań jąder supercięzkich.

1. Kontekst podjętej tematyki badań

Tak zwane supercięzkie jądra atomowe (SHE), usytuowane na tablicy nuklidów powyżej izotopów fermu o liczbie atomowej Z>100 (transfermowce), mogą istnieć w stanach związanych wyłącznie dzięki ich wewnętrznej strukturze. Spodziewane w tym obszarze silne efekty powłokowe kompensują szybko rosnący ze wzrostem Z, odpychający potencjał Kulombowski, co prowadzi do powstania bariery na spontaniczne rozszczepienie tych jąder. Rzeczywiście, wydłużenie czasu połowicznego zaniku obserwowane w jądrach supercięzkich potwierdza istnienie tzw. wyspy stabilności SHE, przewidywanej w okolicy podwójnie magicznego, sferycznego jądra o Z=120 i N=184.
Prowadzone na świecie od lat 50. XX w. intensywne prace eksperymentalne nad syntezą jąder supercięzkich za pomocą reakcji wywołanych przyśpieszonymi wiązkami jonów pozwoliły zbliżyć się do hipotetycznej wyspy stabilności SHE. Aktualnie najcięższym znanym jądrem jest leżący na granicy tego obszaru oganeson ^{294}Og (Z=118, N=176), wytworzony w JINR w Dubnej, w roku 2002.
Dużą rolę w stabilizacji SHE odgrywa kształt powierzchni jądra, który może wykazywać odstępstwa of sfery. W pierwszym rzędzie są to deformacje kwadrupolowe- prolate, oblate oraz trójosiowe, lecz rozważane są także deformacje o wyższych multipolowościach- oktupolowe i heksadekapolowe, czy też inne egzotyczne kształty jak np. proponowane w recenzowanej pracy rozwiązania toroidalne.
Wpływ kształtu jądra na wysokość bariery na rozszczepienie determinuje sposób rozpadu ciężkiego nuklidu. W szczególności ma decydujące znaczenie w przebiegu procesu rozszczepienia, który może zachodzić poprzez podział na dwa symetryczne fragmenty bądź na fragmenty o różnych masach, co dyskutowane jest w pracy.
Fluktuacje kształtu dotyczą w szczególności stanów wzbudzonych, obsadzanych w reakcjach syntezy SHE. Niektóre konfiguracje nukleonów mogą prowadzić tu do stanów metastabilnych, charakteryzujących się specyficznym rozkładem przestrzennym materii (tzw. izomery kształtu), czy też wykazujących wysoki stopień uszeregowania spinów względem wyróżnionej osi symetrii zdeformowanego jądra, jak izomery K, a także omawiane w pracy izomery wysokospinowe.
Należy się również spodziewać znaczącego wpływu na strukturę SHE kolektywnych wzbudzeń nukleonów, takich jak rotacja i wibracja, które mogą zachodzić w zdeformowanym potencjale jądrowym.

Wspomniane powyżej zagadnienia są tematem licznych prac teoretycznych wskazujących interesujące obszary badań doświadczalnych nad strukturą jąder superciężkich. Eksperymenty te są jednak wciąż ograniczone, głównie poprzez bardzo małe wartości przekrojów czynnych na reakcje jądrowe, jak dotąd głównie fuzji-ewaporacji, prowadzące do powstania jąder SHE. Niemniej, należy mieć nadzieję, że zastosowanie nowych metod produkcji jąder SHE za pomocą wiązek radioaktywnych jonów czy reakcji transferu nukleonów, a także wzrost czułości aparatury pomiarowej pozwolą w niedalekiej przyszłości na badanie efektów dyskutowanych w pracy doktorskiej Pani mgr Kosior-Romanowskiej.

2. Struktura pracy

Praca napisana jest w języku polskim, liczy 122 strony. Rozpoczyna się streszczeniem i jego tłumaczeniem na język angielski (abstract). Rozprawa ma standardową strukturę złożoną z 4 głównych rozdziałów z podrozdziałami, które zawierają: i) wstęp, ii) opis zastosowanego modelu teoretycznego, iii) opis otrzymanych wyników i iv) podsumowanie. Kończy ją obszerna, licząca 138 pozycji bibliografia. Praca zawiera 13 tabel i zilustrowana jest 68 rysunkami. Do pracy dołączony jest aneks z przedrukami trzech publikacji w języku angielskim, na których oparta jest dysertacja, wszystkie wykonane są w trzyosobowym zespole. Dwie z tych pozycji (W1, W3) to materiały pokonferencyjne, których mgr Kosior-Romanowska jest pierwszą autorką, a pozycja W2 jest regularnym artykułem opublikowanym w wysoko punktowanym czasopiśmie (Phys. Rev. C), którego wiodącym autorem jest promotor rozprawy. Warto podkreślić dużą liczbę (ogółem 17) cytowań tych publikacji.

3. Omówienie głównych paragrafów pracy

I) We Wstępie Autorka pobieżnie przedstawia historię badań nad ciężkimi jądrami atomowymi. Pisze o pierwszych próbach syntezy pierwiastków transuranowych poprzez wychwyt neutronu i nawiązuje do odkrycia w ich wyniku zjawiska rozszczepienia. W tym miejscu wspomina także pionierskie prace teoretyków wyjaśniające proces rozszczepienia na bazie modelu kroplowego jądra.
Autorka nieco szerzej omawia późniejsze eksperymenty wykonywane w laboratoriach: JINR w Rosji, GSI w Niemczech, RIKEN w Japonii i LBL w USA, w których do wytworzenia izotopów pierwiastków z Z> 106 wykorzystuje się reakcje fuzji-ewaporacji. Wprowadza pojęcia zimnej i gorącej fuzji i dyskutuje zastosowanie tych reakcji w produkcji najcięższych jąder, aż do ^{294}Og otrzymanego w gorącej fuzji radioaktywnej tarczy ^{249}Cf z wiązką ^{48}Ca.
W dalszym ciągu wywodu Autorka przedstawia rozważania na temat zastosowania do syntezy pierwiastków z liczbą atomową zbliżoną do Z= 120 wiązek neutrono-nadmiarowych jąder: ^{50}Ti, ^{58}Fe i ^{64}Ni.
W osobnym podrozdziale Autorka referuje postępy w teorii opisującej strukturę jądra. Wspomina podejście makroskopowo-mikroskopowe (model kroplowy z poprawką powłokową) i przedstawia wynikający z tego modelu szereg liczb magicznych, charakteryzujących liczbę protonów i neutronów - Z i N, w szczególnie silnie związanych jądrach magicznych, aż do ^{208}Pb. Wymienia także kolejne, hipotetyczne podwójnie magiczne jądro: Z= 114 i N= 184.
Dalej Autorka koncentruje się na nowszym podejściu teoretycznym- przybliżeniu Hartree-Focka-Bogolubowa (HFB), bazującym na modelu samouzgodnionego średniego pola, z zastosowaniem funkcjonału gęstości- DFT. Przytacza wyniki obliczeń z użyciem różnych parametryzacji sił jądrowych, które przewidują zamknięcie magicznych powłok dla Z= 120 i N= 172 lub N= 184.
Na zakończenie tego rozdziału Autorka opisuje cel i metodykę badań przeprowadzonych w ramach dysertacji. Do prześledzenia wpływu kształtu powierzchni na stabilność i sposób rozpadu (spontaniczne rozszczepienie i rozpad alfa) 68 nuklidów SHE leżących w pobliżu przewidywanych jąder magicznych, Autorka posługuje się analizą wartości momentów multipolowych rozkładu masy w tych jądrach. Do obliczeń energii potencjalnej w funkcji tych momentów wykorzystuje funkcjonał gęstości Skyrme i stosuje dostępny kod numeryczny HFODD. Obliczenia przeprowadzono dla

czterech obszarów jąder: parzystych izotopów i) flerowu (Z= 114) z N= 154-196 oraz ii) pierwiastka o liczbie atomowej Z= 120 z N= 160-196, łańcuchów pierwiastków iii) Z= 118, 122 i 124 z N= 158-174 i iv) Z= 106-126, izotonów liczby N= 184. Dla ułatwienia orientacji czytelnika obszary te zaznaczone są na wycinku mapy nuklidów.
Szczególną uwagę Autorka poświęca ujemnym wartościom momentów kwadrupolowych, które mogą odpowiadać konkurencyjnym rozwiązaniom: silnie spłaszczonym kształtom oblate bądź geometrii toroidu. Formułuje hipotezę, że kształt torusa może prowadzić do powstawania w badanych jądrach SHE stanów metastabilnych- toroidalnych izomerów wysokospinowych (THSI).

II) Kolejny rozdział pracy zatytułowany: „*Model HFB z funkcjonałem gestosci Skyrme'a*" opisuje sposób konstrukcji potencjału średniego pola w modelu Skyrme Hartree-Fock-Bogolubow. Podano tu zestaw parametrów dla zastosowanego w obliczeniach, dwuciałowego efektywnego oddziaływania Skyrme (SkM*) i zacytowano szereg formuł pozwalających na wyliczenie odpowiadającego mu funkcjonału gęstości jądrowej i całkowitej energii jądra. Opisano także zastosowany w obliczeniach energii sposób optymalizacji za pomocą metody mnożników Lagrange'a z uwzględnieniem dodatkowych więzów dla operatorów liczby cząstek, momentu pędu i momentów multipolowych.
W rozdziale tym omówiono niektóre aspekty wykorzystania w pracy kodu HFODD, który pozwala rozwiązywać układy równań HFB w bazie trójwymiarowego oscylatora harmonicznego. W szczególności zestawiono dostępne w programie opcje zachowania bądź łamania symetrii hamiltonianu średniego pola, dopuszczalne w procesie minimalizacji energii układu. Zagadnienie to zilustrowano przykładami rozwiązań bez łamania symetrii oraz z jednoczesnym łamaniem symetrii parzystości, sygnatury i z-simplex, które skutkują różnymi rozkładami materii w ciężkim jądrze, a w efekcie mogą prowadzić do jego podziału na dwa symetryczne lub asymetryczne fragmenty.

III) Trzeci, najobszerniejszy rozdział pracy zawiera zestawienie wyników otrzymanych przez Autorkę. Rozpoczyna go prezentacja obliczeń HFB całkowitej energii dla jądra $^{304}120$ w funkcji deformacji kwadrupolowej i oktupolowej, które wskazują że minimum sferycznego stanu podstawowego oddzielone jest dwugarbną barierą na rozszczepienie. Rozkład wysokości drugiej bariery sugeruje, że rozszczepienie tego jądra podąża wzdłuż ścieżki prowadzącej do asymetrycznego podziału masy. Analizowany jest także rozkład energii tego jądra w funkcji parametrów deformacji kwadrupolowej β i γ, z którego wynika że dopuszczenie w obliczeniach deformacji trzyosiowej ($\gamma \sim 30°$) powoduje wyraźną redukcję wysokości bariery na rozszczepienie.
Autorka następnie prześledziła zależność całkowitej energii jądra $^{304}120$ od wartości momentu kwadrupolowego Q_{20} w szerokim zakresie $-500\ b \leq Q_{20} \leq 650\ b$. Okazuje się, że dla wartości zbliżonych do $Q_{20} \approx -200\ b$ kształt *oblate* konkuruje z geometrią toroidalną, która staje się korzystniejsza energetycznie przy dalszym wzroście ujemnej deformacji. Efekt ten może mieć związek z obniżeniem energii Kulombowskiej spowodowanym zwiększeniem średniego dystansu między nukleonami. Dla obydwu klas kształtów Autorka zestawia przebiegi poziomów jednocząstkowych w reprezentacji Nilssona, dla protonów i neutronów jako funkcji deformacji w zakresie $-200\ b \leq Q_{20} \leq -160\ b$. W diagramach tych można się doszukiwać przerw energetycznych dla niektórych konfiguracji nukleonów spodziewanych w nuklidach w okolicy jądra $^{304}120$.

Na kolejnych stronach tego rozdziału Autorka prezentuje przebiegi całkowitej energii w funkcji Q_{20} w zakresie $-75\ b \leq Q_{20} \leq 200\ b$ oraz mapy energii we współrzędnych deformacji β i γ, wyliczone dla szeregu parzystych izotopów flerowu (Z= 114) z N= 154-196. Analiza tych wyników prowadzi ją do wniosku, że izotopy Fl w zakresie N= 154-170 wykazują minimum energii dla umiarkowanej deformacji prolate ($\beta \sim 0.2$), natomiast dla N= 162-180 stan podstawowy przyjmuje kształt oblate, po czym dla N= 182-192 jądra stają się sferyczne. Izotopy Fl z N> 162 wykazują także trzyosiowość manifestującą się punktem siodłowym dla parametru γ zbliżonego do wartości 30°. W punkcie tym plasuje się stan podstawowy najcięższych analizowanych jąder z N= 194,196. Analogicznie jak w przypadku jądra $^{304}120$, w izotopach Fl z N= 162-192 efekt deformacji trzyosiowej także prowadzi do redukcji drugiej bariery na rozszczepienie, co może skutkować ich

asymetrycznym podziałem. Wyliczone parametry opisujące stany podstawowe badanych nuklidów podsumowane są w odpowiedniej tabeli.
Podobną analizę zastosowano dla łańcucha izotopów pierwiastka Z= 120 z N= 160-196. Generalnie, trend ewolucji kształtu stanu podstawowego tych jąder jest zbliżony jak poprzednio: prolate dla N= 160-164, oblate dla N= 166-180, sferyczny dla N= 182-194 i trójosiowy dla N= 196. Obliczenia wskazują jednak, że dla najlżejszych izotopów pierwiastka Z= 120 z N< 170, przy bardzo dużej deformacji oblate z β~ 0.9 (tzw. kształt superoblate- SDO) tworzy się lokalne minimum energii. Szczególnym przypadkiem jest jądro o N= 166, w którym w stanie podstawowym współistnieją kształty: prolate, oblate i SDO.
Autorka zestawia na wykresach i w tabelach wyliczone dla izotopów pierwiastków Z=114 i Z=120 wysokości bariery na rozszczepienie z uwzględnieniem deformacji trzyosiowej. Pokazuje, że w obydwu przypadkach największe wartości odpowiadają magicznej liczbie neutronów N= 184. Przy czym dla izotonu Z= 120 bariera ta wynosi 8.3 MeV i jest nieco wyższa, o około 2 MeV, niż w przypadku Z= 114.

Autorka interpretuje przewidywaną ewolucję kształtu izotopów pierwiastków Z= 114 i Z= 120 na gruncie teorii grup. W fizyce jądrowej podejście to stosuje się w ramach modelu oddziałujących bozonów (IBM) do opisu symetrii hamiltonianu jądrowego. Według tej konwencji zmiany kształtu jądra odpowiadają przejściom fazowym pomiędzy układami opisywanymi dynamicznymi symetriami U(5) dla jąder sferycznych, SU(3) dla rotujących jąder prolate i pseudo-SU(3) dla jąder oblate. Posługując się wyliczonym przebiegiem momentu kwadrupolowego Q_{20} Autorka identyfikuje przejście fazowe pierwszego rodzaju (prolate-oblate) zachodzące dla jąder $^{284}Fl_{170}$ i $^{286}120_{166}$ oraz przejście fazowe drugiego rodzaju i punkt potrójny dla jąder $^{294}Fl_{180}$ i $^{300}120_{180}$.

Dysponując wartościami energii wiązania dla jądra z N,Z (rodzic) i N-2, Z-2 (córka) można łatwo wyznaczyć ciepło reakcji Q_α oraz czas połowicznego zaniku T_α dla rozpadu α. W tym celu Autorka stosuje wyliczone energie stanu podstawowego układu rodzic-córka dla rozpadu jąder Fl oraz Z= 120 i przedstawia wyniki na wykresach i w tabelach. Dla $^{286}Fl_{172}$ i $^{288}Fl_{174}$ obliczenia porównano z dostępnymi danymi eksperymentalnymi. Najdłuższy czas połowicznego zaniku T_α= 33.1s spodziewany jest w jądrze $^{298}Fl_{184}$. Autorka zauważa, że także dla izotonu $^{304}120_{184}$ czas T_α osiąga maksimum, jednak podkreśla, że jest on o 5 rzędów wielkości krótszy niż w jądrze flerowu.
Dla analizowanego zestawu izotopów obu pierwiastków Z= 114 i Z= 120 Autorka poszerza zakres deformacji oblate wziętych do obliczeń energii. Pokazuje, że podobnie jak dla jądra $^{304}120$, w pewnym obszarze momentu Q_{20} systematycznie obserwuje się współistnienie kształtów typu oblate i toroid lecz dla dużych wartości Q_{20} energetycznie korzystniejsze są jednak rozwiązania toroidalne, wyniki te umieszczone są na wykresach i w tabelach.

Kolejnym obszarem, w którym zastosowano opisaną wcześniej analizę jest szereg jąder pierwiastków Z= 106-126, izotonów liczby neutronów N= 184. Autorka prezentuje dla tych jąder kolejne przebiegi $E(Q_{20})$, mapy $E(\beta,\gamma)$, rozkład wysokości barier na rozszczepienie i wykresy Q_α, T_α rozpadu alfa, wyniki te umieszcza także w tabelach. Wyciąga z nich wniosek, że wszystkie te jądra w swoich stanach podstawowych są sferyczne, choć także i tu domieszka konfiguracji trzyosiowych może powodować obniżenie bariery na rozszczepienie oraz otwarcie ścieżki prowadzącej do niesymetrycznego rozszczepienia. W badanych izotonach N= 184, wraz ze wzrostem liczby atomowej obserwuje się monotoniczne skrócenie czasu T_α połowicznego zaniku w rozpadzie alfa. Analiza konkurencji kształtów oblate i toroid przy dużych wartościach ujemnych Q_{20} prowadzi do podobnych wniosków jak wyżej.

Serię map energii całkowitej w funkcji deformacji wykonano również dla grupy neutronodeficytowych jąder z Z= 118-124 i N z przedziału 158-174, w którym leżą wspomniane już wcześniej lekkie izotopy Z= 120 wykazujące deformację superoblate. Wyniki tych obliczeń umieszczono w tabeli. Rachunki pokazują, że w większości nuklidów z tego obszaru występują minima o zbliżonych energiach, odpowiadające za współistnienie w nich deformacji prolate, SDO i oblate. Autorka prezentuje wyniki obliczeń czasu T_α dla rozpadu alfa pomiędzy analogicznymi minimami w jądrach rodzic-córka leżącymi w tym obszarze. Dokonuje obserwacji, że czas połowicznego zaniku w rozpadzie α zachodzącym pomiędzy minimami SDO w szeregu izotopów

rodzic-$120_{160,162,164}$ i córka-$118_{158,160,162}$ jest dłuższy od T_α dla przejść łączących stany podstawowe, jednocześnie zachowując trend widoczny dla przejść pomiędzy stanami podstawowymi w cięższych izotopach Z= 120.

Istotnym wątkiem pracy są rozważania nad możliwością stabilizacji egzotycznych rozwiązań hamiltonianu jądrowego o geometrii torusa poprzez wzbudzenia cząstka-dziura, generujące stany o wysokim spinie. Autorka podaje we wcześniejszych paragrafach pracy, że otrzymane w obliczeniach HFB rozwiązania toroidalne nie mają charakteru minimum energii, są więc niestabilne.
Nałożenie dodatkowego warunku na zadany, niezerowy moment pędu wzdłuż osi symetrii jądra i zastosowanie modelu wymuszonego obrotu (cranking) pozwala jednak na identyfikację konfiguracji cząstka-dziura generujących stany wysokispinowe, którym odpowiadają lokalne minima energii. Autorka ilustruje te spekulacje jednocząstkowymi Routhianami w rotującym potencjale jądra $^{304}120_{184}$ o kształcie torusa z momentem kwadrupolowym Q_{20}= -300 b. Na podstawie tych przebiegów identyfikuje obszary z małą gęstością poziomów, odpowiadające przerwom energetycznym, które powstają przy zbliżonych częstościach rotacji dla protonów i neutronów. W kolejnym kroku, stosując metodą mnożników Lagrange'a do minimlizacji sumarycznej energii orbitali leżących powyżej poziomu Fermiego uzyskuje konfiguracje dziur i cząstek generujące w jądrze $^{304}120_{184}$ metastabilne stany wysokospinowe (THSI) z I_z= 81 ħ i I_z= 208 ħ, o energiach wzbudzenia odpowiednio 79 MeV i 102 MeV. Autorka przedstawia wyliczone profile gęstości nukleonów dla tych konfiguracji, które reprezentują kształt toroidu o promieniach R= 10 fm, d= 3 fm i ρ< 0.16 fm^{-3}.
Metoda poszukiwania stanów THSI dla momentów Q_{20} z zakresu (-350 b, -150 b) została zastosowana dla łańcucha izotopów Z= 120, N= 160-196 oraz izotonów N= 184, Z= 106-126, dla których znaleziono odpowiednio 64 i 37 stany THSI, scharakteryzowane w tabelach.

IV) W Podsumowaniu Autorka ogranicza się do streszczenia wyników opisanych w poprzednim rozdziale.

4. Uwagi i opinia recenzenta

Pod względem edycji i formy rozprawa nie budzi większych zastrzeżeń, choć kilkukrotnie natknąłem się w jej tekście na niezgrabności językowe.

Poniżej zamieszczam listę najważniejszych, krytycznych uwag, które nasunęła mi lektura pracy:
-Wątpliwości mogą budzić tłumaczenia na polski niektórych skrótów i pojęć stosowanych w anglojęzycznej literaturze przedmiotu, np. *symmetric elongated fission* powinno być przełożone raczej jako wydłużenie symetryczne prowadzące do rozszczepienia, *superdeformed oblate*- superdeformacja oblate, a *time-dependent density functional theory*- teoria funkcjonału gęstości zależnego od czasu, ponadto wielkość Q_α w polskiej terminologii występuje zwykle jako energia lub ciepło rozpadu.
-Zaskakujące jest, że we wstępie, opisując historię odkrycia rozszczepienia jądra, Autorka nie wspomina roli Lizy Meitner, będącej przecież spirytus movens tych pionierskich badań.
-Brakuje przekonującej definicji obszaru jąder superciężkich, można tu było wykorzystać jedną z cytowanych prac przeglądowych np. [49], na którą powołano się jedynie w kontekście zapożyczenia z niej grafiki zamieszczonej na Rysunku 1.1.
- W omówieniu reakcji prowadzących do syntezy SHE skoncentrowano się na zaletach gorącej fuzji, pomijając efekt wzrostu przekroju czynnego na rozszczepienie związany w wysoką energią wzbudzenia w CN. Podano, że stosując to podejście prawdopodobieństwo utworzenia CN jest o 5-6 rzędów wielkości wyższe niż w przypadku zimnej fuzji. Skąd to oszacowanie, czy nie chodzi tu raczej o czynnik 5-6 ?
-Autorka stosuje spolszczone nazwy najcięższych pierwiastków lecz nie wyjaśnia ich etymologii w naszym języku.
-W tabeli 1.2 Autorka zamieszcza obszerne zestawienie dostępnych kodów HFB, lecz brak jest uzasadnienia wyboru jednego z nich- HFODD, użytego do wykonania rachunków.

-Większość rysunków prezentowanych w pracy jest zaczerpnięta z publikacji własnych (W1-W3), choć dla wielu z nich nie podano odnośnika bibliograficznego (np. rys 3.1). Szkoda, że dla zachowania spójności z tekstem Autorka nie podjęła wysiłku spolszczenia opisów umieszczonych na tych rysunkach.
-W odbiorze pracy przeszkadza brak systematycznego omówienia, np. w rozdziale II, stosowanych modeli teoretycznych. Dotyczy to na przykład modelu *cranking*, na który Autorka wielokrotnie się powołuje przed wprowadzeniem jego elementów dopiero na stronie 83, gdzie występuje on pod nazwą metody Inglisa. Ogólnie, w dysertacji doktorskiej, w odróżnieniu od skondensowanych w treści artykułów specjalistycznych, można by oczekiwać bardziej dydaktycznego podejścia do opisu podstaw teoretycznych, niż to czyni Autorka.
-Mimo iż jest to jedno z najważniejszych zagadnień pracy, brakuje ogólniejszego wyjaśnienia pojęcia izomeryzmu stanów jądrowych.
-Opis rachunków prowadzących do określenia preferowanej ścieżki rozpadu SHE (sEF lub aEF) prowadzi Autorkę jedynie do interpretacji jakościowej rozszczepienia. Nasuwa się pytanie czy zastosowana metoda pozwala przewidzieć rozkład mas fragmentów.
-Na stronie 21 Autorka podaje formuły na operatory niektórych momentów multipolowych, stosowanych do opisu rozkładu masy w jądrach, w tym zestawie brak wyrażenia na moment trzyosiowy Q_{22}, z pomocą którego na stronie 29 zdefiniowane są parametry deformacji β i γ. Niezbyt wygodna dla czytelnika jest konwencja użyta do opisu osi map energii za pomocą kombinacji parametrów $Q_{20}Q_{22}$ i γ zamiast standardowego układu (β, γ).
-Nie jest jasne w jaki sposób w obliczeniach samouzgodnionego pola wprowadza się geometrię torusa skoro wyjściowa parametryzacja powierzchni jądra za pomocą harmonik sferycznych (kształty prolate, oblate) nie pozwala na odwzorowanie tej powierzchni.
-W pracy Autorka nie odnosi się do danych eksperymentalnych, oprócz rys 3.6 gdzie umieszcza wyniki pomiarów Q_α i T_α dla $^{286}Fl_{172}$ i $^{288}Fl_{174}$ lecz nie podaje ich źródła, nie zaznacza także błędów pomiarowych.
-Wyliczone stany izomeryczne THSI, jak zaznaczono w tabelach, pojawiają się przy bardzo wysokich energiach wzbudzenia, sięgających powyżej 100 MeV, co przy braku kolektywnej rotacji może odpowiadać obszarowi kontinuum, znacznie powyżej progu na wyparowanie cząstek. Nasuwa się pytanie czy stany te mają charakter rezonansów i jakie są oszacowania czasów życia tych stanów ?
-W podsumowaniu pracy brak jest jasno sformułowanej konkluzji. Powinna się tu także znaleźć dyskusja na temat znaczenia wyników i możliwości ich weryfikacji w eksperymencie.

Przedstawione wyżej uwagi nie zmieniają mojej wysokiej oceny pracy doktorskiej Pani mgr Amelii Kosior-Romanowskiej. Uważam, że podjęła ważny i ciekawy problem badawczy struktury jąder superciężkich. Do jego zgłębienia zastosowała nowoczesne podejście teoretyczne i zaawansowane metody obliczeniowe. Z ich pomocą systematycznie zbadała obszerny zakres najcięższych jąder. Otrzymała nowe wyniki na temat wpływu deformacji na zwiększenie stabilności nuklidów z obszaru SHE, zbliżonego do hipotetycznych liczb magicznych, oraz wspierające tezę o występowaniu w tych jądrach kształtów toroidalnych.
Na podstawie przedstawionej rozprawy pozytywnie oceniam przygotowanie merytoryczne i warsztat badawczy doktorantki.

Stwierdzam, że przedstawiona do oceny dysertacja spełnia warunki określone w art. 13 ust.1 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, z dnia 14 marca 2003 r., i wnoszę o dopuszczenie magister Amelii Kosior-Romanowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego i do publicznej obrony.

Piotr Jedrzejewski