



**Dr hab. Katarzyna Mazurek**

05.03.2024, Kraków

Instytut Fizyki Jądrowej  
im. Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Radzikowskiego 152  
31-342 Kraków

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mrg Pavla Vladimirovicha Kostryukova**  
**“Dynamic description of low and middle energy nuclear fission”**

Rozprawa doktorska “Dynamic description of low and middle energy nuclear fission” autorstwa mgr Pavla Kostryukova została wykonana w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie pod kierunkiem dr hab. Artura Dobrowolskiego. Treść rozprawy napisanej w języku angielskim została zawarta na 186 stronach w 5 rozdziałach, jest zakończona podsumowaniem, aneksem oraz bibliografią.

**Uwagi ogólne:**

Rozszczepienie jądra atomowego oraz procesy towarzyszące to wciąż aktualny temat badań różnych grup teoretyków i eksperymentatorów. Dokładny opis procesu podzielenia jądra wzbudzonego na mniejsze części oraz emisji neutronów i cząstek naładowanych z uwzględnieniem deekscytacji fragmentów rozszczepienia, jest bardzo trudny ale niezwykle ważny ze względu na zastosowanie w wielu dziedzinach życia codziennego, chociażby w elektrowniach jądrowych, terapii protonowej czy redukcji odpadów radioaktywnych.

Przedmiotem rozprawy stanowią badania dotyczące jąder aktynowców i superciężkich wzbudzonym do energii kilku MeV ponad barierę kulombowska.

**Zawartość oraz wartość naukowa rozprawy:**

Dysertację otwiera wprowadzenie z przedstawieniem motywacji przedstawionych badań. W **rozdziale 2** przedstawione są modele teoretyczne opisujące własności jądra atomowego.



Autor w miarę dokładnie dyskutuje modele makroskopowe służące do liczenia energii potencjalnej jądra oraz modele mikroskopowe bazujące na metodzie wariacyjnej Hartree-Focke. Poprawki powłokowe oraz energia pairing są także dyskutowane.

**Rozdział 3** pracy mgra Kostryukova dotyczy opisu różnych parametryzacji kształtu jąder atomowych oraz ich wpływu na energię potencjalną. Należy zauważyć, że Autor nie ograniczył się tylko do dwóch podstawowych modeli typu Funny-Hill czy rozwinięcia w harmoniki sferyczne ale przedstawił także rzadziej używane parametryzacje typu Nilssona, owali Cassiniego czy Trentalange-Koonina-Sierka. Przedstawione są w tym rozdziale także modele opisujące tensor bezwładności i tarcia, bazujące na traktowaniu jak kropli cieczy i wykorzystujące własności hydrodynamiczne cieczy w przybliżeniu Wernera Wheelera.

W **4 rozdziale** przedstawiono podstawy dynamicznego opisu procesu rozszczepienia przy pomocy rozwiązywania układu równań typu Langevina w wielowymiarowej przestrzeni parametrów kolektywnych. Autor wprowadza tutaj także podstawowe założenia dotyczące emisji cząstek z jądra wzbudzonego, przy czym ogranicza się tutaj tylko do modelu Weisskopfa, zamiast użyć bardziej skomplikowanego, lecz szerzej stosowanego modelu Hausera-Feschbacha.

**Rozdział 5** dysertacji zawiera właściwą część wyników, jakie mgr Kostryukov otrzymał podczas swoich badań. Pokrótkie przedstawione są elementy z jakich skonstruowany jest model: metoda mikroskopowo-makroskopowa do liczenia energii potencjalnej, parametryzacja Fouriera do opisu kształtów jądra, sposób wprowadzenia temperatury do obliczeń itd. Autor skupia się na przedstawieniu testów, jakie wykonał optymalizując przestrzeń parametrów deformacji, krok w ewolucji czasowej jądra, wybór trajektorii czy własności punktu startowego obliczeń.

Dużą część swojej pracy doktorant poświęcił na badanie warunków, przy jakich jądro może się rozszczepić szczególnie uwzględniając problem formowania się szyjki i proces jej rozrywania, prowadząc do powstania dwóch wzbudzonych jąder potomnych, fragmentów rozszczepienia. Mgr Kostryukov dyskutuje także proces spontanicznego rozszczepienia i tunelowania przez barierę potencjału.



Należy podkreślić, że obliczenia były wykonane przez Autora używając autorskiego kodu napisanego w języku Phytton, przez co testy, które tutaj są przedstawione były niezbędne do walidacji metody. Wyniki porównane są do szeregu jąder z obszaru aktywności i dotyczą głównie rozkładów mas i ładunków fragmentów rozszczepienia, a także w kilku wypadkach zostały porównane ich dwuwymiarowe rozkłady średniej energii kinetycznej.

W dalszej części rozdziału piątego dyskutowany jest wpływ emisji neutronów emitowanych z jądra złożonego a także z fragmentów rozszczepienia na rozkłady masowe rezyduów. Uwzględniono także emisję cząstek naładowanych: protonów i alf, która przy tak niskich energiach wzbudzenia aktywności daje minimalny efekt.

Praca zakończona jest krótkim lecz treściwym **podsumowaniem**, **aneksem** zawierającym przedstawienie modeli matematycznych używanych w trakcie obliczeń a także **spisem literatury** zawierającym 173 pozycje. Należy zauważyć, że mgr Kostryukov cytuje cztery prace, których jest współautorem a nawet głównym autorem, opublikowane w Chinese Physics C, Physical Review C czy jako artykuły pokonferencyjne.

### **Język naukowy oraz strona edytorska rozprawy:**

Język naukowy jest staranny a opisane przez Autora zagadnienia nie budzą wątpliwości co do ich zrozumienia. Oprawa graficzna jest rzetelna a rysunki w większości bardzo czytelne. Jednakże pomimo rzetelnie przygotowanej rozprawy nie obyło się bez drobnych błędów edytorskich:

1. błędy drukarskie: Absrtact, annihilation (str. 23), macroscopin (str. 7), barter, time-depend (str. 6), rho (str. 26,61), neighboring (str. 32), single- partcle (str. 48), interva (str. 52), eta in eq. 3.65, degreef (str. 81), de2grees (str. 86), eqation (str. 89), expansion sion (str. 90), FMDsin (str. 128), subsection ??(str. 136), nawiasy eq. 5.32, diagramm, tau (str. 158),
2. zła/brakująca numeracja literatury: Bertsch (str. 5), Stavinsky(str. 60),[] str. 74, (??) (str. 138), podwójnie zdefiniowane 60,67, problem z 94, 147



3. niecodzienne sformułowania: skew-symmetric (diagonally), modernized Funny-Hill (modified), fusion-separation (fission), axisymmetric, strain (tension), multivariate (multidimensional), cross-section (projection, cut), hollow (empty, blank), cleavage (fission), orbital momentum (angular),
4. niezdefiniowane skróty/oznaczenia np: BOA, LE, FDE, TDDFT, AH, nwallAd,mq\*....

**Uwagi i pytania:**

1. Z jednej strony należy podziwiać rozległą wiedzę o teorii jądra atomowego i procesach w nim zachodzących, jaką Autor zawarł na około 100 pierwszych stronach rozprawy ale z drugiej – rzuca się w oczy dysonans między opisem teorii a właściwą częścią pracy, która zajmuje około 70 stron.
2. W pierwszej części pracy (rozdziały 2-4) momentami brakuje płynnego przejścia między poszczególnymi składowymi, co odrobinę utrudnia śledzenie toku myślowego Autora.
3. Rozdział 4 obiecuje ‘Statistical approaches to description of nuclear fission’ ale nie przedstawia żadnych modeli statystycznych opartych na emisji kaskadowej cząstek i kwantów gamma typu GEF, GEMINI++, CASCADA itp. Jest to tym dziwniejsze, że rozdział zaczyna się: “..In this respect, another statistical approach ..”
4. Ogólna uwaga dotycząca rysunków jest taka, że są one czytelne ale podpisy pod nimi są bardziej niż lakoniczne. Można czuć także niedosyt, jeśli chodzi o dyskusję praktycznie wszystkich rysunków i tego co przedstawiają w samym tekście. Znakomitym przykładem jest rys. 5.4, do którego odwołania są w kilku podrozdziałach ale trudno jest zrozumieć co faktycznie przedstawia.
5. Patrząc na rys. 5.6 i następne, zaskakujące jest, że energia wzbudzenia rośnie jak jądro zbliża się do rozszczepienia. Czy to jest faktycznie energia wzbudzenia czy należy to raczej traktować jako energię wewnętrzną jądra?
6. Autor stwierdza, że trajektorie, które nie kończą się na linii rozerwania, są odrzucane. Zwykle w podobnych modelach jądra podążające takimi trajektoriami są traktowane jako rezydwa ewaporacji, przez co można uwzględnić jednocześnie dwa procesy: rozszczepienie i ewaporację. Czy w tym przypadku też byłoby to możliwe?



7. Zwykle jak mówimy o lekkim/ciężkim fragmencie podawane są warunki jak je rozróżniamy.
8. Na rys. 5.14 (podobnie jak na kilku innych) przedstawione są linie ciągłe i zacieniowane obszary. Co to jest?
9. Jak należałoby zmienić warunki początkowe np: rozmiary siatki energii potencjalnej, żeby móc liczyć jądra lżejsze?
10. Przedstawione obliczenia/testy są wykonane przy założeniu braku rotacji. Co należałoby zmienić, żeby móc ją uwzględnić?
11. Przy dużych deformacjach jądra, gdzie szyjka jest już bardzo mała, mamy problem z energią Wignera czyli kongruencji. Czy zostało to uwzględnione?
12. Na rys. 5.20 w legendzie jest  $V_{lsd}(def)-V_{lsd}(0)$ . Czy to faktycznie jest energia makroskopowa?
13. Pan mgr Kostryukov dyskutuje różne podejścia do rozmiaru szyjki, przy którym następuje rozerwanie. Stosuje też metodę Gausa. Czy można to porównać ze znanym z literatury podejściem unchanged charge density (UCD)/non unchanged charge density (NUCD) (Phys.Rev.C 91,041603(R)) gdzie rozkład Gausa decyduje czy fragmenty będą miały inny izospin niż jądro wzbudzone?
14. Rysunek 5.59 ma dużo szarych obszarów, nieopisanych w legendzie.

### **Wnioski końcowe:**

Podsumowując, jednoznacznie stwierdzam, że przedstawiona przez Pana mgr. Pavla Kostryukova rozprawa p.t. "Dynamic description of low and middle energy nuclear fission" stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje wiedzę teoretyczną Kandydata oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w zakresie nauk fizycznych. Spełnia zatem wszystkie wymagania stawiane przez ustawę z zgodnie z artykułem 187 ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 roku (Dziennik Ustaw z 2021 roku, poz. 478). Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy oraz o dopuszczenie Pana mgr. Pavla Kostryukova do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ**  
**im. Henryka Niewodniczańskiego**  
**POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

---

Jednocześnie wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. Pavla Kostryukova p.t. "Dynamic description of low and middle energy nuclear fission" ze względu na szeroką wiedzę dotyczącą mechanizmu rozszczepienia jądra atomowego, przedstawioną w rozprawie. Pan mgr Kostryukov stworzył od podstaw własny kod opisujący mechanizm reakcji z uwzględnieniem procesów towarzyszących takich jak emisja cząstek z jądra złożonego a także deekscytacja gorących fragmentów rozszczepienia.

*Krzysztof Kowalski*