



Warszawa, 11 marca 2024

Recenzja rozprawy doktorskiej pana Pavla Vladimirovicha Kostryukova

Dynamiczny opis rozszczepienia jądra atomowego dla niskich i średnich energii “Dynamic Description of Low and Middle Energy Nuclear Fission”

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pana Pavla Kostryukova „*Dynamic Description of Low and Middle Energy Nuclear Fission*” została napisana w języku angielskim i wykonana w Katedrze Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie pod opieką dr hab. Artura Dobrowolskiego. Praca zawiera 202 strony i została podzielona na pięć rozdziałów.

Rozdział pierwszy wprowadza w tematykę rozszczepienia jądra atomowego. Autor dosyć ciekawie opisał historię odkrycia rozszczepienia jądra oraz próby zrozumienia i ilościowego opisu tego zjawiska. Jednak w angielskim tekście, dotyczy to całej pracy, niektóre słowa zostały źle dobrane, a zdania czasami są niepełne. Nie jest to wada poważna, przy pewnej wprawie tekst jest w pełni zrozumiały. Przykładem może być sformułowanie problemu 1 na stronie 2. W oryginalnym brzmieniu: „**Problem #1:** *^{235}U is very small². In nature it is about 0.7%, so there are only a few centers in the world capable of enriching uranium to the required $4\pm 4.5\%$ on an industrial scale.*” Zamiast słowa rzadki (scarce) Autor użył słowa mały (small), dalej brakuje kilku słów podkreślonych w poniższym, wynikającym z kontekstu, prawdopodobnym sformułowaniu: **Problem #1:** *The isotope ^{235}U is very scarce. It occurs naturally in only about*

0.7% of uranium abundance, hence there are only a few facilities worldwide capable of enriching uranium to the necessary 4-4.5% level on an industrial scale.

W rozdziale drugim Autor opisał model makroskopowo-mikroskopowy. W modelu tym energia potencjalna jądra jest liczona podobnie do energii naładowanej elektrycznie kropli cieczy z napięciem powierzchniowym. Podstawowe wyniki rozprawy (rozdział V) zostały otrzymane w modelu kropłowym, opracowanym przez grupy z Lublina i Strasbourga (LSD). Efekty kwantowe uwzględniane zostały przez dodanie poprawki powłokowej wg przepisu Strutinskiego oraz poprawki pairingowej BCS. Spektrum energii jednocząstkowych liczone w potencjale tzw. Yukawa-folded. W części tego rozdziału Autor opisał rozwój modelu makroskopowego, poczynając od przełomowej pracy Bethego i Weizaeckera z roku 1935 [30, 31].

Następny rozdział Autor poświęcił opisowi różnych parametryzacji kształtu jądra atomowego, parametrom masowym oraz opisowi lepkości. Zwykle promień powierzchni jądra atomowego rozwijano w szereg harmonik sferycznych. Jednak większość oryginalnych osiągnięć Autora została otrzymana przy rozwinięciu odległości powierzchni od osi symetrii w szereg Fouriera w funkcji z , liczonej wzdłuż osi symetrii (wzór 3.43). Parametry masowe Autor liczył w przybliżeniu Wenera-Wheelera (3.65) a tensor lepkości w tzw. przybliżeniu „ścienneo-okiennym” (podrozdział 3.2.2).

W rozdziale czwartym Autor opisał równanie Langevina – klasyczne równanie, opisujące ruch cząstki poddanej stochastycznej sile w ośrodku lepkim, zaproponowane pierwotnie do opisu ruchów Browna. Trzy równania (4.16) są podstawowymi równaniami recenzowanej pracy, użytymi do opisu czasowej ewolucji kształtu rozszczepiającego się jądra. Dwa pierwsze są klasycznymi równaniami Langevina napisanymi w wielowymiarowej przestrzeni parametrów deformacji. Trzecie równanie, zaproponowane wcześniej 4.12, opisuje szybkość zamiany energii związanej z lepkością i stochastyczną siłą na energię wzbudzenia.

W ostatnim rozdziale zostały opisane osiągnięcia Autora, opublikowane w czterech pracach:

- [41] K. Pomorski, J. M. Blanco, P. V. Kostryukov, A. Dobrowolski, B. Nerlo-Pomorska, M. Warda, Z.-G. Xiao, Y.-J. Chen, L.-L. Liu, J.-L. Tian, et al., **Chinese Phys. C** **45**, 054109 (2021),
- [78] P. V. Kostryukov and A. Dobrowolski, **Phys. Rev. C** **108**, 024605 (2023),

- [115] P. V. Kostryukov, A. Dobrowolski, B. Nerlo-Pomorska, M. Warda, Z. Xiao, Y. Chen, L. Liu, J.-L. Tian, and K. Pomorski, **Chinese Phys. C** **45**, 124108 (2021),
- [116] P. Kostryukov and A. Dobrowolski, in *Proceedings of the 39-th International Workshop on Nuclear Theory (IWNT-39)* (Heron Press Ltd., Sofia, Bulgaria, 2022).

Warto podkreślić, że w 3 pracach [78, 115, 116] Doktorant jest pierwszym autorem. Z powyższego spisu widać, że prace zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach o międzynarodowym zasięgu, w szczególności praca [78] w *Physical Review C*.

W rozdziale tym Autor rozwiązywał numerycznie równania Langevina otrzymując rozkład mas, ładunków i energii kinetycznych fragmentów powstających w wyniku rozszczepienia. Autor zbadał proces rozszczepienia dla izotopów: od Th, U, Pu, Cm, Cf do Fm oraz jąder superciężkich Ds, Cn i $Z=120$. Przy czym dyskutowane jest rozszczepienie ze stanu podstawowego - spontaniczne oraz ze stanu wzbudzonego, np. w wyniku wychwytu neutronu lub wzbudzenia elektromagnetycznego. Przykładowe trajektorie w przestrzeni parametrów deformacji powstające w wyniku działania przypadkowej siły zostały zilustrowane na przykładzie jądra ^{236}U na rysunkach 5.6-5.10. Autor bardzo szczegółowo opisał stabilność numeryczną rozwiązywanych równań, warunki początkowe oraz znaczenie poszczególnych wkładów w równaniu 4.18 – tensorów masy i lepkości, gęstości poziomów energetycznych oraz wyboru zmiennej stochastycznej. Otrzymane numerycznie rozkłady mas w przestrzeni parametrów deformacji (najczęściej q_2 , q_3 , q_4) fragmentów (FMD) Autor porównał z wartościami zmierzonymi na rysunku 5.36 i 5.37 dla szeregu aktynowców od Th do No. Podobne rachunki zostały przeprowadzone dla jąder najcięższych od Rf do Lv i przedstawione na rysunku 5.43. Ostatnia część rozdziału piątego Autor poświęcił analizie emisji neutronów oraz lekkich fragmentów podczas procesu rozszczepienia.

Rozprawę kończy bogaty spis literatury, zawierający 173 pozycje, choć niektóre są powtórzone, np. rozprawa doktorska Promotora [60] i [67].

Metoda oceny rozprawy doktorskiej została unormowana w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2022 r, poz. 574, tekst ujednolicony), zwana dalej **Ustawą**.

Art. 187. 1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.

Doktorant bardzo szczegółowo opisał używane w pracy modele fizyczne oraz narzędzia numeryczne z interesującym wprowadzeniem historycznym. Świadczy to, że Kandydat prezentuje bardzo rozległą wiedzę w badanej dyscyplinie. To, że w trzech spośród czterech opublikowanych prac jest pierwszym autorem, świadczy o jego wiodącej roli przy ich powstawaniu i dużej samodzielności.

2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.

Rozprawa poświęcona jest badaniu rozkładów mas i energii kinetycznych fragmentów powstających w wyniku rozszczepienia jądra atomowego. Odtworzenie doświadczalnych rozkładów jest bardzo trudnym problemem. Zastosowane w pracy podejście teoretyczne wymagało wykonania żmudnych rachunków numerycznych. Warto dodać, że jądra dalekie od ścieżki stabilności mogą być otrzymywane w indukowanym rozszczepieniu relatywistycznych wiązek. Dlatego prace poświęcone rozkładowi mas powstających w rozszczepieniu mają ważne znaczenie praktyczne.

3. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.

Rozprawę doktorską stanowi 202 stronicowa praca pisemna w języku angielskim.

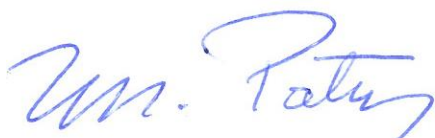
4. Do rozprawy doktorskiej dołącza się streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim. W przypadku gdy rozprawa doktorska nie jest pracą pisemną, dołącza się opis w językach polskim i angielskim.

Rozprawa została napisana w języku angielskim, powszechnie używanym w nauce, i brak streszczenia w języku polskim nie stanowi poważnej wady.

Oceniam rozprawę jako bardzo dobrą, **a nawet wyróżniającą się**. W mojej ocenie przedstawiona rozprawa stanowi duże osiągnięcie badawcze Doktoranta. Doktorant wykazał się umiejętnością sprawnego posługiwania się różnymi metodami teoretycznymi, umiejętnością krytycznej oceny otrzymanych wyników, dobrą znajomością badanego zagadnienia, i jest w stanie wskazać nowe perspektywy badań. Rozprawa zawiera nowe, wartościowe wyniki, pogłębia znacząco znajomość mechanizmów rozszczepienia jądra atomowego. Moim zdaniem rozprawa całkowicie spełnia wymagania Ustawy i jednoznacznie kwalifikuje Doktoranta do otrzymania stopnia doktora.

W konkluzji stwierdzam, że pan Pavel Vladimirovich Kostryukov spełnia wszystkie warunki stawiane przez Ustawę nadania stopnia doktora i wnoszę o dopuszczenie do dalszych etapów postępowania.

Prof. dr hab. Zygmunt Patyk



Narodowe Centrum Badań Jądrowych

02-093 Warszawa

Ul. Pasteura 7