



UNIWERSYTET ŚLĄSKI, Instytut Fizyki
ul. 75 Pułku Piechoty 1, 41-500 Chorzów
e-mail: Jan.Kisiel@us.edu.pl

Chorzów, 12.08.2024r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana Pawła Lasko pt.
Isotopic effects in nuclear multifragmentation: Studies with
the Lattice Gas Model.

Badanie multifragmentacji jądrowej jest istotne dla zrozumienia mechanizmu reakcji zderzeń ciężkich jonów przy energiach pośrednich i wysokich. Gdy w wyniku zderzenia pocisku z jądrem tarczy energia wzbudzenia powstałego układu złożonego jest większa niż kilka MeV na nukleon to dochodzi do powstania wielu fragmentów o różnych masach, a multifragmentacją nazywamy taką reakcję, w której powstają więcej niż dwa ciężkie fragmenty. Jest to reakcja przebiegająca inaczej niż reakcja rozszczepienia ciężkich jąder atomowych na dwa ciężkie fragmenty i kilka neutronów. Ostatnie kilkadziesiąt lat to intensywne badania multifragmentacji jądrowej, zarówno eksperymentalne (dostępne są wiązki ciężkich jonów o różnych energiach, a także wydajne układy detekcyjne) jak i teoretyczne (powstają nowe modele, a także dostępne są duże moce obliczeniowe). Motywacją tych badań jest nie tylko chęć poznania procesu multifragmentacji, ale także przekonanie, że może to nas przybliżyć do zrozumienia diagramu fazowego materii jądrowej, w tym przewidywanego przejścia fazowego typu ciecz-gaz. Można wyróżnić dwa podejścia w modelowym opisie multifragmentacji jądrowej: (1) dynamiczne, w którym bada się ewolucję w czasie nukleonów pocisku i tarczy, oraz (2) statystyczne, w którym obliczenia prowadzi się biorąc pod uwagę dostępną przestrzeń fazową. Oba podejścia mają swoje plusy i minusy, a niewątpliwym plusem podejścia statystycznego są mniejsze wymagania obliczeniowo-komputerowe. Jeden z modeli statystycznych – Model Dwuskładnikowego Gazu Sieciowego (*Isospin Dependent Lattice Gas Model*) - został wybrany przez Pana mgr Pawła Lasko do opisu multifragmentacji, które były badane przez międzynarodową współpracę fizyków ALADIN.

Rozprawa doktorska Pana Pawła Lasko składa się z siedmiu rozdziałów, wliczając w to wstęp i podsumowanie, jednego dodatku oraz bibliografii. Wstęp

jest jednostronicowy, ale uważam że także dwa kolejne rozdziały można traktować jako wprowadzenie do zasadniczej części rozprawy. Autor dyskutuje w nich diagram fazowy materii jądrowej, ogólnie przyjęty mechanizm multifragmentacji przedstawiony na Rysunku 3, str. 16, a także sygnatury przejścia fazowego. Jedną z nich jest plateau na krzywej kalorycznej (Rys. 5, str. 19) obserwowane przez wiele eksperymentów. Niedawno zaproponowano również badanie własności bezwymiarowych kumulant (skośność, kurtoza) charakteryzujących rozkład prawdopodobieństwa największego fragmentu powstałego w wyniku multifragmentacji jako kolejną sygnaturę przejścia. W rozdziale czwartym znajdziemy opisy Modelu Gazu Sieciowego jedno- i dwuskładnikowego, oraz jego zastosowanie do badania multifragmentacji jądrowej i poszukiwania sygnałów świadczących o przejściu fazowym, w tym badania skośności i kurtozy rozkładów największego fragmentu. Skrótowy opis eksperymentu ALADIN wraz wynikami symulacji wykonanych w Modelu Gazu Sieciowego i ich porównaniem z danymi multifragmentacji dla reakcji zderzeń jąder ^{197}Au o energiach 600, 800 i 1000 MeV na nukleon z tarczami Cu, In oraz Au to treść rozdziału piątego. Jony złota były przyspieszane w ośrodku GSI w Niemczech. Rozdział kolejny to opis badań efektów izospinowych podczas procesu fragmentacji jądra spektatora przy energiach relatywistycznych. W tym celu użyto neutrono-nadmiarowych jąder ^{124}Sn oraz neutrono-niedomiarowych wiązek wtórnych ^{107}Sn i ^{124}La . Rozdział siódmy to podsumowanie, którego głównym wnioskiem jest to, że uzyskano bardzo dobry opis danych rozkładu ładunków fragmentów stosując dwuskładnikowy Model Gazu Sieciowego. Rozprawę kończy dodatek z opisem symulacji Monte Carlo oraz bibliografia licząca 122 pozycje.

W trakcie studiowania rozprawy doktorskiej Pan P. Lasko nasunęły mi się następujące uwagi:

1. Grupa prof. J. Brzychczyka z Uniwersytetu Jagiellońskiego od lat prowadzi, z sukcesami, badania procesu multifragmentacji jądrowej z wykorzystaniem Modelu Gazu Sieciowego, a przedstawiona do recenzji rozprawa jest kolejną poświęconą tej tematyce. Na str. 27 pracy autor pisze, że w publikacji A. Wieloch et al. *Critical-like behavior in a lattice gas model* (referencja [77] w bibliografii) zostały przedstawione wstępne wyniki analizy danych fragmentacji Au zebranych przez eksperyment ALADIN, zaznaczając, że opis danych Modelem Gazu Sieciowego był bardzo dobry, a Jego analiza tych danych zawarta w rozprawie jest bardziej dogłębna. W czasie obrony chętnie poznam więcej szczegółów wyjaśniających na czym polegała ta bardziej dogłębna analiza w porównaniu do pracy A. Wieloch et al., w której także został użyty dwuskładnikowy Model Gazu Sieciowego.

2. Pan Paweł Lasko zastosował dwie procedury klasteryzacji nazwane E_{REL} oraz Caniglio-Klein, które różnią się kryterium włączenia nukleonu do klastra. Obie procedury zostały skrótowo przedstawione w dodatku. Pojawia się pytanie jak wybór sposobu klasteryzacji wpływa na opis danych eksperymentalnych. Odpowiedzi możemy szukać np. na niezbyt czytelnych wykresach 25-27 (str. 47-49; na wykresie 25 kumulanty są oznaczone małą literą k , a w podpisie dużą), na których przedstawiono kumulanty K_3 (skośność) i K_4 (kurtoza) w funkcji Z_{bound} , gdzie Z_{bound} jest sumą liczb atomowych wszystkich fragmentów o ładunku większym od jeden. Oczekuję, że w trakcie publicznej obrony doktorant szerzej przedstawi wpływ wyboru procedury klasteryzacji na przewidywania Modelu Gazu Sieciowego.

Rozprawa doktorska Pana Pawła Lasko jest napisana w języku angielskim, w sposób prosty i zrozumiały. Przeczytałem ją z przyjemnością. Rysunki dobrze uzupełniają tekst i są w zdecydowanej większości czytelne (jednym z wyjątków jest np. Rys. 64 na str. 86, na którym opisy osi są za małe). Nie mam uwag do redakcji rozprawy w języku angielskim, ale nie jestem kompetentną osobą do oceny pod tym względem. W polskim streszczeniu rozprawy znalazłem dwie literówki: *Niniejszej praca jest poświęcona...* zamiast *Niniejsza praca jest poświęcona...* oraz niepoprawne przeniesienie do nowego wiersza wyrazu *przeprowadzone*.

Podsumowując, uważam, że zawarte w rozprawie doktorskiej Pana Pawła Lasko wyniki przewidywań Modelu Gazu Sieciowego porównane z danymi doświadczalnymi fragmentacji spektatorów pocisku ^{197}Au (dane z eksperymentu ALADIN) są interesujące i oryginalne. Równie interesujące są wyniki badań zależności fragmentacji od izospinu z wykorzystaniem danych zebranych przez współpracę ALADIN z wiązkami neutronowo- nadmiarowymi i niedomiarowanymi. Doktorant wykazał, że w bardzo dobrym stopniu opanował zaawansowane programy komputerowe, a także posiadał umiejętność wyciągania wniosków z porównań przewidywań modelowych z wynikami doświadczalnymi.

Na podstawie przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej Pana Pawła Lasko pt. *Isotopic effects in nuclear multifragmentation: Studies with the Lattice Gas Model* stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. Jan Kisiel