

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr Rafała Najmana pt.
A quest for exotic nuclear systems formed in the $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$
reaction at 23 AMeV.**

$Z=118$ – tyle wynosi liczba atomowa największego, obecnie znanego jądra atomowego, którego wyprodukowanie nie budzi wątpliwości fizyków. Pojawiają się naturalne pytania: jak duże jądra atomowe mogą być stabilne?, jaki może być ich kształt?, czy można takie jądra atomowe wyprodukować? A jeżeli tak, to w jaki sposób? Przewidywania różnych modeli (powłokowy, hydrodynamiczny czy Hartree-Focka-Bogoliubowa) wskazują na istnienie kilku obszarów stabilności jąder atomowych o liczbach atomowych większych niż $Z=118$, przy czym tak ciężkie jądra, powinny mieć kształt cygara, bańki czy torusa. W przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej, Pan mgr R.Najman zajął się badaniem możliwości utworzenia takich egzotycznych kształtów na etapie reakcji jądrowej nazywanym *freeze-out*. Taki cel pracy został sformułowany we wstępie rozprawy (str. 8), a w rozdziale 5. (Data analysis) został zawężony do badania możliwości powstania egzotycznej konfiguracji nukleonów na etapie *freeze-out* w zderzeniach $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ przy energii 23 AMeV. Ograniczenie badań autora rozprawy do układu $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ jest kontynuacją pracy grupy fizyków z Zakładu Fizyki Gorącej Materii, Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytetu Jagiellońskiego. Kilka lat temu miałem przyjemność recenzować rozprawę doktorską Pani dr Anny Sochockiej pt. „Poszukiwania egzotycznych układów w reakcjach z ciężkimi jądrami”. Autorka przedstawiła w niej m.in. wyniki symulacji układu Au-Au dla różnych wartości parametrów zderzenia i różnych wartości energii, a także zdefiniowała obserwable pozwalające na rozróżnienie kształtu układu nukleonów na podstawie obserwacji ciężkich fragmentów powstałych z jego rozpadu.

Rozprawa doktorska Pana mgr R.Najmana składa się z sześciu rozdziałów, wliczając w to wstęp i podsumowanie. We wstępie autor skrótowo podsumowuje dotychczasowe prace, zarówno teoretyczne, jak i wyniki paru eksperymentów, dotyczące produkcji superciężkich jąder atomowych i ich możliwych egzotycznych kształtów. W rozdziale drugim przedstawiono układ pomiarowy CHIMERA pracujący w INFN-LNS w Katanii we Włoszech. Kolejny rozdział zawiera szczegółowy opis kalibracji detektora oraz identyfikacji ładunku i masy zmierzonych fragmentów powstałych w reakcji $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ przy energii 23 AMeV, a zebrane dane są przedstawione na wykresach zamieszczonych w rozdziale czwartym. W rozdziale piątym autor definiuje obserwable, które mogą posłużyć do określenia kształtu tworzonych układów nukleonów, oraz przedstawia dwa modele: ETNA (użyty do symulacji rozpadów egzotycznych układów nukleonów) i QMD (użyty do symulacji reakcji jądrowych z zachowaniem korelacji wielonukleonowych). Rozdział ten zawiera także porównanie przewidywań modeli z wynikami eksperymentu. Rozprawę kończy jednostronicowe podsumowanie i spis literatury liczący 43 pozycje. Rozprawa nie jest zbyt

obszerna, liczy bowiem 62 strony tekstu, oraz 9 stron spisu rysunków, tabel i pozycji literatury.

Za najważniejszy wynik rozprawy doktorskiej Pana mgr R.Najmana uważam wyznaczenie wartości tzw. czynnika wydajności (*efficiency factor*). Czynniki wydajności jest definiowany jako stosunek liczby przypadków odpowiadających toroidalnemu kształtowi układu nukleonów dla fazy *freeze out* do ilości przypadków z pięcioma lub więcej ciężkimi fragmentami. Kształt jako toroidalny jest uznawany wtedy gdy wartości dwóch parametrów: δ - definiowana jako odległość od prostej na płaszczyźnie sferyczność-koplanarność ang. *sphericity-coplanarity*, w pobliżu której grupują się zdarzenia odpowiadające emisji ciężkich fragmentów dla konfiguracji toroidalnej) oraz Δ^2 - będąca miernikiem płaskości, ang. *flatness* konfiguracji w przestrzeni prędkości fragmentów) są odpowiednio mniejsze od 0.05 i 0.001c² (wyrażenie 5.12, str. 56). Przy czym należy zaznaczyć, że uznanie kształtu układu nukleonów za toroidalny wymaga zgodności wartości czynnika wydajności z przewidywaniami modelowymi. Obie obserwowane, δ i Δ^2 , zostały zaproponowane w rozprawie doktorskiej Pani dr A.Sochockiej. Poniżej przedstawiam kilka pytań/uwag dotyczących rozprawy doktorskiej Pana mgr R.Najmana:

1. Uważam, że parametr δ lepiej rozróżnia konfigurację układu nukleonów. Moim zdaniem pewne wątpliwości może budzić jednakże fakt, że obie obserwowane są definiowane jako różne funkcje prędkości fragmentów, czyli przez wielkości *dynamiczne* (tj. prędkości), natomiast mają opisywać sytuację *statyczną* jaką jest konfiguracja nukleonów w postaci torusa, bańki czy kuli. Wynika to zapewne z faktu, że można zmierzyć jedynie fragmenty układu *freeze-out* docierające do detektorów układu pomiarowego.
2. Autor oblicza wartości parametrów δ oraz Δ^2 i na podstawie ich wartości wnioskuje o toroidalnej konfiguracji układu *freeze-out*. Uważam, że wartości tych parametrów mogą być podobne dla układu *oddzielnych* klastrów nukleonów, ułożonych w przestrzeni w sposób podobny do torusa. Czy taka możliwość była brana pod uwagę? A jeżeli tak, to jakie wartości parametrów δ oraz Δ^2 otrzymano dla konfiguracji *oddzielnych* klastrów.
3. Nie znalazłem uzasadnienia dla wyboru co najmniej pięciu fragmentów do konstrukcji rozważanych obserwabli. Autor na str. 49 rozprawy pisze: „*In our analysis we used events in which there have been at least five such fragments*”. Domyślam się, że układ detekcyjny CHIMERA potrafi rozróżniać wiele fragmentów reakcji, ale czy to była jedyna motywacja selekcji przypadków z co najmniej pięcioma fragmentami. Np. dlaczego nie rozważano przypadków z trzema lub czterema zidentyfikowanymi fragmentami reakcji.
4. Nie do końca jestem przekonany o tym, że na podstawie *pewnej* zgodności wartości czynnika zgodności dla danych eksperymentalnych i zakładanego w obliczeniach kształtu toroidalnego konfiguracji *freeze-out* można wnioskować o tym, że taki kształt został rzeczywiście utworzony. Pan mgr R.Najman chyba także podziela moje wątpliwości, ponieważ w podsumowaniu rozprawy, na stronie 67., pojawia się bardzo ostrożna konkluzja: *Proximity of efficiency factor values for experimental data and toroidal freeze-out configuration may be used as an indication of the formation of an exoic freeze-out configuration.*

5. I na koniec uwaga bardziej ogólna. Autor konsekwentnie w rozprawie używa terminów „*exotic nuclear systems*” (w tytule rozprawy), czy „*formation of exotic freeze-out configurations*” (str. 49). Czy takie „egzotyczne” układy mogą być uznane za jądra atomowe? A jeśli tak to jaka jest ich liczba atomowa i liczba masowa? Identyczną uwagę sformułowałem w recenzji rozprawy doktorskiej Pani dr A. Sochockiej.

Rozprawa doktorska Pana mgr Rafała Najmana jest napisana w języku angielskim w sposób prosty i zrozumiały. Nie mam uwag do strony językowej pracy, ale jednocześnie nie czuję się w pełni kompetentny do oceny pracy pod tym względem. Uważam, że autor w sposób przesadnie oszczędny stosuje przecinki w zdaniach złożonych, co trochę utrudnia ich „natychmiastowe” zrozumienie. Warto podkreślić wysoki poziom edytorski pracy. Rysunki oraz tabele dobrze uzupełniają tekst. Autor nie jest konsekwentny w używaniu, bądź nieużywaniu kursywy do wyjaśnienia w tekście znaczenia liter pojawiających się we wzorach. Np. na stronie 26.. po wzorze (3.8) „R” i „t” nie są napisane kursywą, a „ J_0 ” tak. Kursywa w oznaczaniu w tekście znaczenia symboli użytych we wzorach jest chyba szerzej przyjęta. Ponadto w rozprawie brak streszczenia w języku polskim.

Podsumowując, uważam, że zawarte w rozprawie doktorskiej Pana mgr Rafała Najmana wyniki poszukiwania egzotycznych układów nukleonów formowanych na etapie *freeze-out* reakcji $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ przy energii 23 AMeV są oryginalne i ciekawe. Autor wykazał, że opanował metody analizy danych zebranych we współczesnym eksperymencie z fizyki jądrowej oraz posługiwanie się skomplikowanymi programami komputerowymi.

Na podstawie przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej Pana mgr Rafała Najmana pt. „A quest for exotic nuclear systems formed in the $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ reaction at 23 AMeV” stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. Jan Kisiel