

2018 -03- 20

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr Tomasza Capa pt. „Procesy wielonukleonowego transferu i fragmentacji układu $^{197}\text{Au}+^{197}\text{Au}$ w głęboko-nieelastycznych zderzeniach przy energii 23 A MeV”

Fizyka zderzeń ciężkich jonów przy pośrednich i wysokich energiach była dziedziną nauki silnie rozwijającą się na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat. W szczególności zakres tzw. pośrednich energii, czyli od kilku do kilkudziesięciu mega elektronowoltów na nukleon był szeroko studiowany tak doświadczalnie jak i teoretycznie. Obecnie obserwuje się spadek zainteresowania tym zakresem energetycznym, mimo iż np. w dalszym ciągu nie ma jednego spójnego i dobrze zdefiniowanego dynamicznego modelu opisującego przebieg tego typu reakcji. Stąd też w moim przekonaniu prace naukowe badające właśnie reakcje jądrowe przy pośrednich energiach są cenne i niezbędne.

Przedstawiona do recenzji praca jest nierozzerwalnie związana z wyżej wymienionymi zagadnieniami. Głównym celem pracy jest zbadanie procesów zachodzących w zderzeniach dwóch jader złota przy energii 23 A MeV na nukleon.

Rozprawa doktorska Pan magistra Tomasza Capa składa się dziesięciu rozdziałów w tym wliczając wstęp i podsumowanie.

We wstępie autor zawarł podstawowe informacje dotyczące pracy znajdziemy tu krótko opisaną zawartość pracy, motywację, która skłoniła autora do podjęcia się badania właśnie reakcji zderzeń ciężkich jonów oraz skrótowy opis mechanizmów reakcji. Rozdział drugi zawiera opis oraz obecny stan wiedzy dotyczący reakcji głęboko-nieelastycznych lub jak to definiuje autor silnie tłumionych. Prezentowane są podstawowe cechy reakcji głęboko nieelastycznych, następnie autor szeroko omawia problem sekwencyjności w przebiegu zderzeń reakcji ciężkojonowych oraz temat emisji fragmentów z obszaru tzw. szyjki czyli obszaru oddziaływania między dwoma zderzającymi się jądrami. W rozdziale tym znajdziemy także informacje dotyczące wielonukleonowego transferu jako ewentualnego kanału produkcji jader superciężkich. Rozdział drugi kończy skrótowy opis dynamicznych modeli tak makro jak i mikroskopowych służących do opisu zderzeń jądro-jądro w obszarze pośrednich energii. Kolejny (trzeci) rozdział zawiera obecny stan wiedzy na temat zderzeń $^{127}\text{Au}+^{127}\text{Au}$ w szerokim zakresie energii. Autor dzieli ten zakres energetyczny właściwie na dwa przedziały – energie mniejsze bądź równe 15 A MeV, oraz energie 40A-150 A MeV. Autor poświęca więcej uwagi energii 15 A MeV, wcześniej zmierzonej i zbadanej przez grupę, której autor jest członkiem. Rozdział czwarty to opis układu eksperymentalnego. Produkty reakcji powstałe w zderzeniach Au+Au przy energii 23 A MeV były identyfikowane z wykorzystaniem układu pomiarowego o nazwie CHIMERA pracującego się w LNS INFN w Katanii, Włochy. Znajduje się tu objaśnienie konstrukcji całego detektora oraz pojedynczego teleskopu. Część tego rozdziału jest także poświęcona opisowi elektroniki służącej do obsługi i zapisu sygnałów pochodzących z detektorów scyntylacyjnych i krzemowych. Rozdział kończy, właściwie tylko, wyliczenie możliwych technik identyfikacji

fragmentów. Rozdział ten kończy część pracy, którą można nazwać jako przeglądowo – opisową. Kolejne rozdziały zawierają właściwą analizę danych eksperymentalnych. Rozdział 5 poświęcony został kalibracji detektora CHIMERA. Techniki jakie autor wykorzystał to: tzw. analiza deltaE-E pozwalająca na identyfikację głównie ładunków ale także mas cięższych fragmentów ($Z > 3$) oraz identyfikacja masowa fragmentów metodą czasu przelotu (ToF). Autor w tym rozdziale bardzo szczegółowo opisuje poszczególne kroki wykonane podczas kalibracji jak i identyfikacji produkowanych fragmentów. Krótki rozdział szósty wprowadza definicję wielkości używanych w dalszej części analizy danych. Kolejny rozdział to opis eksperymentu testowego, celem którego było sprawdzenie metody kalibracji oraz poprawności procedur kalibracyjnych. W rozdziale ósmym i dziewiątym znajdujemy właściwą analizę danych reakcji $^{127}\text{Au} + ^{127}\text{Au}$ dla energii 23.4 MeV . Analiza ta zaczyna się od ogólnej charakterystyki reakcji, następnie autor definiuje tzw. zdarzenia kompletne wykorzystywane w tej części analizy, na podstawie danych prezentuje możliwe schematy przebiegu reakcji od zderzeń binarnych (w kanale wyjściowym dwa ciężkie fragmenty) do zderzeń z czterema fragmentami w tymże kanale. Po tym wstępie następuje analiza zderzeń, które autor nazywa semi-inkluzywnymi, a charakteryzującymi się rozpadem jednego z fragmentów pierwotnych pocisko-podobnego lub tarczo-podobnego na dwa wtórne, z których z kolei wybierane są te pochodzące z fragmentu pocisko-podobnego. W dalszej części pracy autor oblicza całkowitą energię kinetyczną fragmentu pierwotnego, szacuje transfer wielonukleonowy z jądra tarczy do jądra pocisku, by ostatecznie na podstawie rozkładów kątowych wnioskować o mechanizmie reakcji, w tym bardzo ciekawym efekcie emisji z tzw. szyjki. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie całej pracy.

W mojej opinii praca stanowi cenne źródło informacji o mechanizmie reakcji zderzeń dwóch jader złota przy pośrednich energiach. Część teoretyczna świadczy o bardzo dobrej orientacji autora w obecnym stanie wiedzy właśnie nt. procesów jakie zachodzą podczas omawianej reakcji. Przeprowadzana kalibracja świadczy o dużej dbałości o szczegóły – uwzględnienie defektu wysokości impulsu w kalibracji oraz zastosowane metody kalibracji pokazują, że proces ten był przemyślany i wykonany ze szczególną starannością. Jednocześnie należy podkreślić, że wykonana kalibracja i identyfikacja ponad tysiąca teleskopów jest okupiona ogromnym nakładem pracy. W moim przekonaniu bardzo prosta, a zarazem bardzo ciekawa jest analiza zderzeń kompletnych, która uwiadamia dominujące kanały przebiegu reakcji. Ostatecznie analiza rozpadów fragmentów pocisko-podobnych pokazuje, że możemy mówić w przypadku rozważanej reakcji o transferze tylko kilkunukleonowym z jądra tarczy do pocisku i jest on właściwie niezależny od energii jądra pocisku. Zaskoczeniem jest wynik analizy fragmentów emitowanych z szyjki, które posiadają stosunkowo duże liczby masowe. W moim przekonaniu warto byłoby kontynuować badania właśnie w tym kierunku. Zainteresowała mnie także część analizy dotycząca oszacowania czasu utworzenia fragmentów pierwotnych do momentu rozpadu fragmentu pocisko-podobnego.

Mam następujące uwagi/pytania do sposobu przeprowadzonych przez doktoranta analiz bądź interpretacji uzyskanych wyników:

- Na stronie 31 pracy autor opisuje detektory scyntylacyjne używane w urządzeniu CHIMERA – podaje ich wzór chemiczny CsI(Tl) , a następnie jako nazwę – cezek jodu – czy nie powinno być jodek cezu?

- Nie bardzo rozumiem czym są „pasożytnicze obwody strat” na stronie 33.
- Autor szeroko opisuje dwie metody identyfikacji fragmentów ToF i deltaE-E, pomija natomiast metodę analizy kształtu impulsu wykorzystywaną do identyfikacji lekkich fragmentów i w skrócie opisuje, że wykorzystuje ona szybką i wolną składową energetyczną z detektorów scyntylacyjnych. Metoda ta jednak w przypadku detektora CHIMERA lekko odbiegała od standardowej i w moim przekonaniu dla kompletności pracy winna być nieco dokładniej opisana.
- W rozdziale dotyczącym sprawdzania liniowości odpowiedzi detektorów, autor twierdzi, że żaden z detektorów tak krzemowych jak i scyntylacyjnych nie wykazał odstępstwa od założonej linowej kalibracji generatorem. Nasuwa się pytanie jak można kalibrować detektory przy użyciu generatora?
- Nie rozumiem twierdzenia (strona 48), że niepewności poziome punktów na rysunku 5.5 wynikają z rozdzielczości detektora, natomiast niepewności pionowe z rozmycia pików w energii w oparciu o tab 5.3. Czy autor mógłby wyjaśnić szerzej jak zostały oszacowane te niepewności?
- Kilkakrotnie w pracy autor posługuje się wyrażaniem supernadprzewodzący cyklotron (np. strona 73) – moim skromnym zdaniem winno być nadprzewodzący cyklotron gdyż słowo angielskie *superconducting* właśnie tak się tłumaczy.
- Nie rozumiem także twierdzenia ze strony 85 dotyczącego małej statystyki zdarzeń kompletnych wykluczającą szczegółową analizę tych zdarzeń – wcześniej na stronie 74 autor przedstawia liczbę zdarzeń kompletnych jako ponad 8 milionów – czy to jest mała statystyka?
- Na stronie 91 znajdujemy opis, że wartość k stabilizuje się po kilku krokach (zmianach) – w moim przekonaniu brakuje wykresu na podparcie tej tezy.
- Nie jest dla mnie także do końca jasne jak zostały obliczone niepewności pomiarowe w tabeli 9.2 tak dla ilości wyparowanych i transferowanych nukleonów. W szczególności wartości dla ilości wyparowanych nukleonów wydają się małe. Oczywiście mogą one znajdować się w tym zakresie w przypadku gdy wartości liczb masowych dla fragmentów pierwotnych i wtórnych są skorelowane (co niewątpliwie ma miejsce). Warto jednak byłoby poświęcić kilka zdań na opis sposobu obliczenia niepewności. Ponadto co oznaczają liczby ujemne w tej tabeli?
- Na stronie 119 znajduje się odniesienie do paneli a1 – w opisie rysunku 9.31 (w tekście) czy nie powinno być a4?

Rozprawa doktorska Pana mgr Tomasza Capa jest napisana w języku polskim, w sposób prosty i zrozumiały, a jej czytanie sprawiło mi dużą przyjemność. Nie mam uwag do strony językowej pracy, ale jednocześnie nie czuję się w pełni kompetentny do oceny pracy pod tym względem.

Podsumowując przedstawiona do recenzji praca porusza ważne tematy z punktu widzenia fizyki zderzeń ciężkich jonów. Jak wspomniałem na początku recenzji fizyka pomimo coraz mniejszych możliwości eksperymentalnych (zamykane są kolejne cyklotrony lub

wykorzystywane w innym celu) nie powinniśmy zapominać o fundamentalnych procesach właśnie poruszanych w przedstawionej do recenzji pracy.

Opis obecnego stanu wiedzy, następnie kalibracja układu eksperymentalnego i ostatecznie próba opisu przebiegu reakcji zderzenia dwóch jader złota przy energii 23 A MeV, w mojej opinii może służyć za przykład precyzyjnie i poprawnie wykonanej analizy. W moim przekonaniu autor wykazał, że w dobrym stopniu opanował zaawansowane metody analizy danych.

Analiza zdarzeń kompletnych jasno ukazuje wzbudzenie fragmentów tarczo- i pociskopodobnych, a następnie ich rozpad jako dominujący kanał reakcji. Ponadto w przypadku zderzeń semi-inkluzywnych wyznaczanie fragmentów emitowanych z szyjki jak i określenie czasu życia wzbudzonego fragmentu pociskopodobnego poszerza informacje o możliwych scenariuszach przebiegu zderzeń reakcji ciężkojonowych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr Tomasza Capa pt.

„Procesy wielonukleonowego transferu i fragmentacji układu $^{197}\text{Au}+^{197}\text{Au}$ w głęboko-nieelastycznych zderzeniach przy energii 23 A MeV” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Dr hab. Seweryn Kowalski