

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr Wiktora Wojciecha Parola pt.
Badanie efektów siły trój-nukleonowej w reakcji rozszczepienia deuteronu
w zderzeniach deuter-proton przy energii 80 MeV/nukleon.**

Na obecnym etapie precyzji obliczeń, do opisu oddziaływań w układzie wielu nukleonów zakłada się, że oddziaływanie jądrowe zachodzi jedynie pomiędzy parami nukleonów. W ramach takiego podejścia wyniki pomiarów wielu obserwabli, w tym wartości przekrojów czynnych, nie różnią znacząco od przewidywań teoretycznych dla układów wielu nukleonów. Jednakże dla układów kilkunukleonowych obserwuje się rozbieżności pomiędzy otrzymanymi dotychczas pomiarami niektórych obserwabli (np. energie wiązania układów trzynukleonowych czy przekroje czynne na rozpraszanie elastyczne), a przewidywaniami teoretycznymi, w których uwzględnia się jedynie oddziaływanie dwunukleonowe. Uwzględnienie w obliczeniach siły trzynukleonowej pozwoliło m.in. na poprawienie opisu przekrojów czynnych na rozpraszanie nukleon-deuteron w szerokim zakresie energii. Ponadto badanie reakcji kilkunukleonowych pokazało również, że konieczne jest uwzględnienie oddziaływania kulombowskiego, którego znaczenie rośnie dla niektórych konfiguracji oddziałujących jonów. Pomimo tego, że wiemy, że ma miejsce oddziaływanie trójnukleonowe istnieje potrzeba badania jego własności, a aby to robić potrzebne są dane eksperymentalne, w których efekty działania jądrowej siły trójciałowej mogłyby być widoczne, czyli mierzalne. I właśnie wyznaczenie wartości różniczkowych przekrojów czynnych na reakcję rozszczepienia deuteronu przy energii 160 MeV w szerokim zakresie przestrzeni fazowej było celem rozprawy doktorskiej Pana mgr Wiktora W. Parola. Eksperyment został wykonany w KVI, Groningen, Holandia, przy użyciu układu pomiarowego, który stanowił detektor BINA. W przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej Pan mgr W. W. Parol przedstawił zarówno sposób przeprowadzenia pomiarów, analizy danych jak i porównał wyniki eksperymentu z obliczeniami z wykorzystaniem różnych modeli. Nie ujmując niczego części „teoretycznej” rozprawy, na szczególne słowa uznania ze względu na kompletność i systematyczność zasługuje, moim zdaniem, część „eksperymentalna”. Warto w tym miejscu podkreślić, że fizycy z Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie od lat badają dynamikę układu kilku nukleonów, i to zarówno od strony „modelowej” (np. rozwinięcie formalizmu równań Fadeeva) jak i strony eksperymentalnej (pomiarzy z wykorzystaniem detektorów BINA, SALAD czy WASA). O poziomie tych badań świadczy duża liczba publikacji w najlepszych czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej.

Rozprawa doktorska Pana mgr W. W. Parola składa się z siedmiu rozdziałów wliczając w to wprowadzenie i podsumowanie oraz jednego dodatku i bibliografii. Całość to 92 strony, a układ pracy jest typowy dla rozpraw doktorskich z fizyki jądrowej zawierających

zarówno część „eksperymentalną” jak i „teoretyczną”. Po przedstawieniu motywacji do podjęcia badań dynamiki w układzie trzech nukleonów autor rozważa kinematyczne aspekty reakcji ${}^1\text{H}(\text{d},\text{pp})\text{n}$ i skrótowo przedstawia podstawy modeli opisujących oddziaływania jądrowe w układzie kilku nukleonów, które są używane do opisu zmierzonych obserwacji. Rozdział trzeci zawiera króciutki opis cyklotronu AGOR, szersze przedstawienie układu detekcyjnego BINA, elektroniki odczytu i sposobu wyboru zdarzeń (definicje trygerów). Obszerny czwarty rozdział rozprawy zawiera szczegółowy opis różnych etapów analizy danych, począwszy od selekcji zdarzeń i rekonstrukcji torów i energii cząstek, poprzez procedurę kalibracji energetycznej, określenie wydajności układu pomiarowego i świetlności wiązki, po wyznaczenie wartości różniczkowego przekroju czynnego na reakcję rozszczepienia deuteronu dla różnych konfiguracji kinematycznych. W czterostronicowym rozdziale 5. znajdujemy dyskusję błędów statystycznych i systematycznych. Dyskusja otrzymanych wyników wraz z porównaniem uzyskanego różniczkowego przekroju czynnego z przewidywaniami kilku modeli teoretycznych dla wybranej konfiguracji kinematycznej jest treścią rozdziału szóstego. Rozdział ten rozpoczyna ważny, moim zdaniem, paragraf o normalizacji danych eksperymentalnych. Autor stwierdza, że „*procedura normalizacyjna w tym eksperymencie zawiodła, co przejawia się istnieniem znaczących niepewności systematycznych*” i dlatego podejmuje próbę porównania kształtów rozkładów przekrojów czynnych doświadczalnych i teoretycznych (obliczenia kilkoma modelami). Jakość opisu różniczkowych przekrojów czynnych, wyrażona przez zależność χ^2/dof od różnych zmiennych opisujących cząstkę w kanale wyjściowym reakcji ${}^1\text{H}(\text{d},\text{pp})\text{n}$ jest przedstawiona na rysunkach od 6.4 do 6.9. Zestawienie porównania eksperymentalnych i teoretycznych wartości różniczkowych przekrojów czynnych, dla wszystkich zmierzonych konfiguracji kątów definiujących zarejestrowane koincydencje proton-proton w kanale wyjściowym badanej reakcji, przedstawiono w dodatku A. Do wszystkich przekrojów czynnych zastosowano tę samą wartość czynnika normalizacyjnego λ równą 0.78. Rozprawę kończy podsumowanie i spis literatury liczący 65 pozycji. Na podstawie porównania teoretycznych i eksperymentalnych wartości przekrojów czynnych na badaną reakcję można wnioskować, że uzyskane wyniki nie faworyzują jednoznacznie jednego modelu, jeżeli weźmiemy pod uwagę wszystkie analizowane geometrie.

Kilka uwag i pytań, które mi się nasunęły w trakcie czytania rozprawy doktorskiej Pana mgr W. W. Parola zamieszczam poniżej:

1. Na str. 26-tej zabrakło mi szerszego uzasadnienia/wyjaśnienia tego, że średnia geometryczna konwersji prądów na wyjściu z fotopowielaczy jest najlepszym przybliżeniem energii deponowanej przez cząstkę w scyntylatorze.
2. Jedna z wartości eksperymentalnego przekroju czynnego (dla energii równej 40 MeV/nukleon, stosunkowo „stare” dane z roku 1958-go – referencja [61] w spisie literatury) na rozpraszanie elastyczne deuteronów na protonach dla wartości kąta polarnego równej 91° zdecydowanie odstaje od dopasowanego wielomianu piątego stopnia. Czy jest jakieś wytłumaczenie tak dużego odstępstwa? Ta wartość energii (40 MeV/nukleon) jest moim zdaniem ważna ponieważ leży w zakresie energii dla których wartość przekroju czynnego silnie zmienia się z energią.
3. W rozdziale 7.1 rozprawy mgr W. W. Parol wskazuje na możliwości poprawienia normalizacji otrzymanych przez siebie wartości przekrojów czynnych na badaną reakcję. Wg autora normalizacja jest niepoprawna, ponieważ obserwuje się

systematyczne przesunięcie wartości zmierzonych przekrojów czynnych w stosunku do **wszystkich** przewidywań teoretycznych. Potwierdzeniem tej tezy jest, moim zdaniem, jedna wartość dodatkowego współczynnika normalizacji λ dla wszystkich analizowanych konfiguracji cząstek w kanale wyjściowym reakcji. A może jednak przewidywania otrzymane z wykorzystaniem **wszystkich** użytych potencjałów jądrowych są systematycznie za niskie w stosunku do eksperymentalnych przekrojów czynnych?

Rozprawa doktorska Pana mgr W. W. Parola jest napisana w języku polskim, co obecnie nie tak często zdarza się w przypadku rozpraw z fizyki jądrowej, czy fizyki cząstek elementarnych. Czytelne rysunki ułatwiają zrozumienie pomiaru oraz metod analizy danych. Poziom edytorski rozprawy jest wysoki. Jednakże autor nie ustrzegł się szeregu błędów językowych czy edytorskich. Zauważone wymieniam poniżej.

- Str. 16: W podpisie rysunku 3.2 opisano prawy i lewy panel, a na rysunku mamy panele górny i dolny (podpisy paneli prawego i lewego odpowiadają podpisom paneli górnego i dolnego).
- Str. 25: *...zamontowane były się...*, zamiast *...zamontowane były...*
- Str. 39: Autor pisze, że *poszukiwania świetlności* są opisane w rozdziale 4.4.1, podczas gdy sposób wyliczania świetlności z wykorzystaniem znajomości różniczkowego przekroju czynnego na rozpraszanie elastyczne proton-deuteron stanowi treść rozdziału 4.7.
- Str. 46: Rysunek 4.24 zachodzi częściowo na tekst, przynajmniej w moim egzemplarzu rozprawy.
- Str. 49: *by to* oraz *by la* zamiast *było* oraz *była*
- Str. 50: *...Wartość tak uwzględnia...* zamiast *...Wartość ta uwzględnia...*
- Str. 51: W tekście autor pisze, że w tabeli 5.1 znajduje się podsumowanie niepewności statystycznych, a w tej tabeli są podane źródła błędów systematycznych.
- Str. 52: W podpisie pod rysunkiem 5.2 *...wynikające wykorzystania...* zamiast *...wynikające z wykorzystania*

Uważam, że Pan mgr W. W. Parol opanował i umiejętnie zastosował w swojej rozprawie doktorskiej nowoczesne metody opracowania danych eksperymentalnych (kalibracja detektorów, identyfikacja cząstek i rekonstrukcja ich torów, analiza wydajności układu pomiarowego, obliczenie wartości przekrojów czynnych i ich porównanie z przewidywaniami), a także wykazał się znajomością modeli teoretycznych używanych do wyliczania wartości różniczkowych przekrojów czynnych. Rezultatem jego pracy są wartości przekrojów czynnych dla reakcji rozszczepienia deuteronu $^1\text{H}(d,pp)n$ przy energii 160 MeV, dla różnych konfiguracji kątowych cząstek w kanale wyjściowym, a także ich porównanie z przewidywaniami różnych modeli. Otrzymana przez mgr W. W. Parola baza danych zawierająca ponad 1800 punktów eksperymentalnych (1 punkt to wartość przekroju czynnego dla reakcji rozszczepienia deuteronu w reakcji $^1\text{H}(d,pp)n$ przy energii 160 MeV dla danej konfiguracji przestrzennej charakteryzowanej przez parę kątów polarnych rejestrowanych protonów i względny kąt azymutalny oraz wartości zmiennej S , która jest definiowana jako długość łuku pewnej krzywej kinematycznej) jest, moim zdaniem, najważniejszym wynikiem rozprawy. Jestem przekonany, że zostanie włączona w zestaw danych eksperymentalnych, które są wykorzystywane do rozwijania modeli opisujących siły działające w układzie trzech nukleonów.

Podsumowując: na podstawie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr Wiktora Wojciecha Parola pt. *Badanie efektów siły trój-nukleonowej w reakcji rozszczepienia deuteronu w zderzeniach deuter-proton przy energii 80 MeV/nukleon* stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A handwritten signature in blue ink, reading "Jan Kisiel". The signature is written in a cursive style with a horizontal line above it.

Prof. Jan Kisiel