



Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytet Warszawski

ul. Pasteura 5A, 02-093 Warszawa
tel: +(48 22) 8222123, fax: +(48 22) 6592714
e-mail: slcj@slcj.uw.edu.pl
<http://www.slcj.uw.edu.pl>



Recenzja rozprawy doktorskiej "Investigation of Deuteron Desintegration" pana mgr Ghanshyambhai Khatri

Tematem recenzowanej pracy doktorskiej jest fragment dużego programu badawczego, realizowanego od kilkunastu lat przez międzynarodowy zespół fizyków, poświęconego fundamentalnym oddziaływaniom jądrowym, a w szczególności roli w nich sił trój- i cztero-ciałowych. Program ten ma dużą wagę naukową, dostarcza bowiem precyzyjnych danych doświadczalnych, które mogą być wykorzystane do bardzo rygorystycznej weryfikacji istniejących modeli teoretycznych. Dużą rolę w tych badaniach odgrywają fizycy z polskich uczelni - Uniwersytetów Jagiellońskiego i Śląskiego.

Pytanie o postać sił jądrowych jest jednym z fundamentalnych pytań w fizyce jądrowej. Zgromadzony przez lata obszerny materiał doświadczalny dotyczący elastycznego rozpraszania nukleon-nukleon pozwolił na opracowanie efektywnych modeli sił jądrowych, takich jak np. AV18. Okazuje się jednak, że duża liczba parametrów dostępnych w tych modelach nie wystarcza i w szczególności do opisu układów trzech i więcej nukleonów wymagane jest uwzględnienie sił trój-ciałowych (3N). Potrzebę tę wyraźnie widać zarówno przy próbach opisu struktury jąder trytu czy ^3He , jak też przy opisie oddziaływania $n, p + d$, a nawet ostatnio przy opisie rozpraszania cięższych jąder atomowych (np. PRC 80, 044614).

Co do roli sił cztero-ciałowych (4N) badania są w bardzo początkowej fazie. Ilość danych eksperymentalnych jest mała i ograniczają się one głównie do elastycznego rozpraszania $d + d$, zaś modele teoretyczne są dopiero tworzone. Stąd też **praca doktorska pan Khatri jest w dużej mierze pracą pionierską**. Główną ideą (raczej promotora niż doktoranta, sadzę) było porównanie istniejących danych dla elastycznego rozpraszania deuteronów na protonach z danymi uzyskanymi w procesie quasi-swobodnego (QFS) rozpraszania deuteronów na deuteronach, w którym to procesie neutron grałby rolę spektatora – cząstki nie biorącej udziału w reakcji, $d + d \rightarrow d + p (+ n)$. Różnica między obu zespołami danych mogłaby sugerować udział sił 4N. W tym celu przeprowadzono eksperyment, w którym mierzone były w koincydencji deuterony i protony pochodzące ze zderzeń $d + d$, emitowane w możliwe przeciwnych kierunkach (duży kąt ϕ między kierunkami pędów obu cząstek), co gwarantowało, że neutrony pochodzące z tarczy uzyskują małą energię kinetyczną, a to z kolei pozwalało na założenie o quasi-swobodnym mechanizmie rozpraszania.

Eksperyment przeprowadzono w ośrodku Kernfysich Versneller Instytut w Groningen, Holandia, wykorzystując wiązkę deuteronów o energii 160 MeV i dokonując pomiarów dla trzech kątów $\phi = 140, 160$ i 180 stopni. Głównym zadaniem doktoranta była analiza danych doświadczalnych.

Praca, napisana dobrą angielszczyzną, składa się z abstraktu (w językach polskim i angielskim), sześciu rozdziałów, trzech dodatków, obszernej bibliografii i podziękowań. Manuskrypt ma bardzo elegancką graficznie formę, z bardzo starannie przygotowanymi rysunkami. Czyta się go z przyjemnością widząc, że autor ma duże zdolności dydaktyczne.

Po wstępie i krótkiej charakterystyce modeli teoretycznych główna część pracy poświęcona jest opisowi eksperymentu i analizie danych w celu uzyskania obserwacji: różniczkowych przekrojów czynnych reakcji breakupu deuteronu, w różnych konfiguracjach geometrycznych. Uzyskane rozkłady energetyczne zebrane są w dodatku C.

Przejdę teraz do bardziej drobiazgowej oceny poszczególnych rozdziałów. Jak już wcześniej pisałem, brakuje na początku pracy streszczenia w języku polskim (art. 13 punkt 7 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym). Wstęp napisany jest bardzo przekonująco, zaś rysunek 1.4, na którym zebrano istniejące dane dotyczące elastycznego rozpraszania $d + d$ i porównano je z przewidywaniami teoretycznymi znakomicie ilustruje w jak początkowej fazie są badania sił 4N.

Rozdział drugi zawiera krótką charakterystykę modeli teoretycznych, a także obliczenia związane z kinematyką badanych reakcji i definicje zmiennych kątowych oraz zmiennej dynamicznej S . Co do tej ostatniej wolałbym, by oprócz ilustracji na rys. 2.8 doktorant zamieścił przykład jej definicji algebraicznej jako funkcji energii protonów i deuteronów. Brak mi też w tym rozdziale definicji „przekazu czteropędu”, zmiennej używanej przez autora zamiennie z kątem rozpraszania do wizualizacji danych doświadczalnych.

W rozdziale tym pan Khatri wymienia wszystkie procesy, jakie zachodzą przy zderzeniach dwóch deuteronów, między innymi breakup deuteronu oraz zderzenia typu QFS. Oczywiście, podczas zderzeń dwóch deuteronów oba mogą ulec dezintegracji. Autor wyjaśnia, że w jego eksperymencie, ze względu na konfigurację detektora, zebrano dane dotyczące breakupu tego deuteronu, który pozostaje w spoczynku w układzie laboratorium (tzn. deuteronu z tarczy). Jak jednak odróżnia breakup od zdarzeń QFS? Byłoby wskazane, gdyby szerzej wyjaśnił jak te dwa procesy rozróżnić doświadczalnie. Nie jest także jasne, co ma na myśli autor pisząc o „reaction energy” (str 17). Nie jest to chyba wartość Q reakcji breakupu, bowiem na następnej stronie jest ona podana jako $Q = -2.224$ MeV.

Rozdział trzeci poświęcony opisowi układu doświadczalnego w KVI Groningen dosyć szczegółowo omawia zastosowane detektory, układ elektroniczny, tarcze, a także układ monitorujący wiązkę. Napisany jest zwięźle ale bardzo przejrzysto, z dobrze dobranymi ilustracjami.

W rozdziale czwartym doktorant przedstawia swoje zmagania z analizą zebranych danych doświadczalnych. Jako narzędzia użył zmodyfikowanego (przez siebie, jak sądzę) programu FBRun. Okazało się, że w celu absolutnej normalizacji przekrojów czynnych potrzebne będzie porównanie przekrojów czynnych na elastyczne rozpraszanie z danymi uzyskanymi wcześniej przy innych niż obecna energiiach (a właściwie z danymi uzyskanymi przy wyższej energii 180 MeV, bowiem dane przy niższej energii są mniej kompletne, rys. 4.30). Doktorant ocenia obłąd systematyczny spowodowany takim sposobem normalizacji na ok. 5 procent.

Układ eksperymentalny, dzięki zastosowaniu techniki $\Delta E - E$ pozwalał na dobre odróżnienie rejestrowanych cząstek, co ilustruje rys. 4.5. Na dwu-wymiarowych widmach wyraźnie widać grupę elastycznie rozproszonych deuteronów jak też deuterony i protony pochodzące z reakcji

breakupu. Które z nich odpowiadają mechanizmowi QFS? To pytanie dręczyło mnie podczas czytania pracy i chętnie usłyszę komentarz na ten temat podczas obrony.

Rozdział kończy paragraf poświęcony błędowi systematycznemu, ocenionemu na ok. 10 procent, i jego źródłom.

Podsumowując, rozdziałami trzecim i czwartym autor udowadnia, że jest dobrze przygotowany do prowadzenia samodzielnych badań eksperymentalnych.

W rozdziale piątym autor porównuje uzyskane wyniki doświadczalne z obliczeniami opartymi o mechanizm QFS. Jak wynika z rys. 5.1, dane doświadczalne dobrze zgadzają się z obliczeniami dla największego z kątów ϕ , w obszarze kinematycznym odpowiadającym najmniejszej energii neutronów. To wynik, który nie zaskakuje, z którego jednak trudno wysnuć jakiegokolwiek informacji o siłach 4N. Jestem trochę zdziwiony, dlaczego pan Khatri, mimo obietnicy na str 9, nie porównuje swoich danych ze wcześniejszymi danymi dla elastycznego rozpraszania $d+p$. Było by to z pewnością bardzo interesujące porównanie.

Jak wspomniałem praca jest bardzo dobrze napisana i zilustrowana. Mam tylko dwie uwagi co do klarowności tekstu. Na rys. 1.1 przedstawione są cztery krzywe, podczas gdy podpis pod rysunkiem omawia trzy z nich. Co przedstawia czwarta z krzywych?

W dodatku B autor definiuje różniczkowe przekroje czynne. Zwykle przekrój czynny przedstawia się jako funkcję kąta rozpraszania (w układzie lab czy też c.m), co też czyni sam autor na rys. 1.1. Definicje przedstawione w dodatku jako parametru używają kąta bryłowego. Którego z układów dotyczą definicje z dodatku B? Jak się ma zmienna $\Omega_{d,el}$ do kąta rozpraszania? Czym się ona różni od zmiennej $\Omega_{d,el,ball}$?

W recenzji starałem się uwypuklić wątpliwości, które nasunęły mi się podczas czytania pracy. Nie znaczy to jednak, że nie doceniam pracy doktoranta i jego umiejętności, jakie nabył podczas realizacji tego projektu. Uważam, że pan Khatri uzyskał bardzo wartościowy zbiór danych doświadczalnych dotyczący oddziaływania czterech nukleonów, który będzie przedmiotem szczegółowej analizy w następnych pracach. W szczególności chciałbym podkreślić pionierski charakter pracy pana Khatri. Wykazał się on w niej ogólną wiedzą teoretyczną i udowodnił, że jest przygotowany do prowadzenia samodzielnych badań naukowych.

Jestem przekonany, że praca doktorska pana Ghanshyambhai Khatri spełnia warunki określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2014 r. poz. 1852 i Dz.U. z 2015 r. poz. 249) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. Krzysztof Rusek

Warszawa, 5.10.2015