

Prof. dr hab. Tomasz Matulewicz
Zakład Fizyki Jądrowej
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski

Warszawa/Łomianki, 30 grudnia 2015

**Recenzja rozprawy doktorskiej
magistra Wiktora Wojciecha Parola**

zatytułowanej:

*Badanie efektów siły trój-nukleonowej
w reakcji rozszczepienia deuteronu
w zderzeniach deuter-proton przy energii 80 MeV/nukleon*

Przedstawiona do recenzji rozprawa mgr. Wiktora Parola wpisuje się w systematyczne badania efektów działania siły trój-nukleonowej na proces oddziaływania deutron-proton. Badania te prowadzone są od kilku dekad, zarówno dla zderzeń w układach z wiązką i/lub tarczą spolaryzowaną¹, jak i w układach niespolaryzowanych. Niestety, brak jest nadal jednoznacznych konkluzji co do właściwego teoretycznego opisu tych oddziaływań. Kilka rozpatrywanych modeli teoretycznych odnosi sukcesy w pewnych zakresach kinematycznych, podczas gdy w innych zakresach okazuje się być niezgodnymi z wynikami doświadczalnymi. Można tu zacytować wniosek z jednej z ostatnich prac na ten temat: „*We find that none of these new three-nucleon force models is able to reproduce simultaneously the empirical saturation point of symmetric nuclear matter and the properties of three- and four-nucleon systems.*”². Wyniki przedstawione w rozprawie doktorskiej mgr. Parola wzbogacają zestaw dostępnych danych doświadczalnych, które mogą posłużyć do weryfikacji następnych modeli teoretycznych. Dane takie są dalej pozyskiwane, zarówno poniżej energii na produkcję mezonu π , jak i powyżej tego progu³. Jest to szczególnie istotne obecnie wobec rozwoju prac teoretycznych uwzględniających wpływ pola kulombowskiego⁴ oraz efekty relatywistyczne⁵ w opisie oddziaływań trój-nukleonowych. Siły 3N oraz 4N są systematycznie wyprowadzane w kolejnych rzędach rachunku zaburzeń w ramach efektywnej chiralnej teorii pola⁶.

¹ E. Stephan, Studies of polarization observables in the deuteron-proton collisions, ISBN 978-83-88879-30-2

² D. Logoteta, I. Vidana, I. Bombaci, A. Kievsky, Phys. Rev. **C91**, 064001 (2015)

³ S.M. Piyadin et al., Nucl. Phys. **B 219-220**, 251 (2011)

⁴ A. Deluva i P.U. Sauer, Phys. Rev. **C91**, 034002 (2015)

⁵ A.H. Lippok i H. Mütter, Phys. Rev. **C92**, 034312 (2015)

⁶ R. Machleidt, Journal of Physics: Conference Series **580**, 012002 (2015)

Po zwięzłym przedstawieniu podstaw teoretycznych (Rozdział 2) i eksperymentu (Rozdział 3) zrealizowanego na wiązce akceleratora AGOR w Groningen Autor dogłębnie omówił procedurę analizy danych, której poświęcił Rozdział 4 rozprawy. Na podkreślenie zasługuje wysiłek doświadczalny oraz analityczny przy kalibracji energetycznej modułów detektora BINA. Autor włożył też dużo pracy dla otrzymania map wydajnościowych elementów detektora oraz wydajności całkowitej. Na podstawie analizy rozpraszania elastycznego dp wyznaczył całkowitą świetność eksperymentu (na poziomie dwudziestu kilku nb^{-1}). Wartość przekroju czynnego dla energii deuteronów wynoszącej 160 MeV została otrzymana z interpolacji dostępnych danych doświadczalnych. Tu warto się zastanowić, czy należało korzystać z dwóch wyników doświadczalnych o najniższych energiach protonów (31 MeV i 40 MeV), gdzie wartość przekroju czynnego zmienia się aż o czynnik 5. Zapewne jednak ich uwzględnienie lub pominięcie było bez znaczenia dla wyników interpolacji.

Wracając do spraw eksperymentalnych, nie znalazłem w tekście rozprawy wyjaśnienia przyczyny, dla której podstawowy warunek wyzwalania zapisu danych (warunek T1, krotność 2 lub więcej) był przeskalowany o czynnik 2, co pokazuje Tablica 3.1. Jeśli układ zbierania danych był na granicy swoich możliwości, to czy nie można było ograniczyć intensywności wiązki zmniejszając tym samym obciążenie detektorów promieniotwórczości?

Pomimo starannej analizy otrzymane w rozprawie wartości różniczkowego przekroju czynnego okazały się być systematycznie zaniżone. Tu warto wspomnieć, że ze względu na niedoskonałość aparaturową autor rozprawy nie mógł skorzystać z całkowitego pomiaru prądu wiązki, co pozwoliłoby mu na zweryfikowanie otrzymanej scałkowanej świetności eksperymentu.

Po koniecznym dla tej analizy wyznaczeniu niepewności systematycznych (Rozdział 5) Autor w Rozdziale 6 szczegółowo omówił uzyskane wyniki. Ze względu na wspomniany już problem bezwzględnej normalizacji wyznaczonych przekrojów czynnych otrzymane dane zostały potraktowane jako wyznaczenie kształtu rozkładów, z dodatkowym wolnym współczynnikiem normalizacji. Jest to w pełni uzasadniona procedura.

Analizując przebieg wartości χ^2 na stopień swobody w zależności od różnych zmiennych kinematycznych autor szczegółowo komentuje jakość odtwarzania wyników pomiaru przez różne modele teoretyczne. Szczególnie zastanawiające jest pogorszenie opisu danych doświadczalnych po wprowadzeniu oddziaływań trój-nukleonowych dla niskich energii względnych (Rysunek 6.8). Może to być ciekawa obserwacja dla grup teoretycznych obliczających własności nuklidów neutrono-nadmiarowych⁷ w modelach uwzględniających siły trój-

⁷ K. Hebeler, J.D. Holt, J. Menendez, A. Schwenk,
<http://arxiv.org/pdf/1508.06893.pdf>

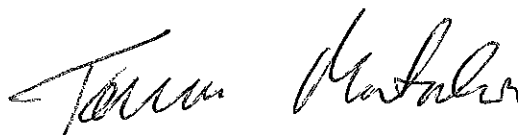
nukleonowe, czy też prawdopodobieństwo rozpadu β ⁸. Znaczenie sił trój-nukleonowych podkreślane jest też w obliczeniach reakcji jądrowych (oddziaływanie $^4\text{He}+^4\text{He}$ badane w grupie U.-G. Meißnera⁹).

Dodatek A zawiera kompletne zestawienie wyników eksperymentalnych w formie graficznej, łącznie z porównaniem z rezultatami wybranych obliczeń teoretycznych. Jest to bardzo wartościowa część rozprawy. Dla potencjalnych użytkowników tych danych przydałoby się także zamieszczenie ich w formie liczbowej, aby nie musieli odczytywać wartości różniczkowego przekroju czynnego z wykresów.

Praca jest napisana w sposób przejrzysty, rysunki są czytelne i dobrze ilustrują omawiane zagadnienia. Tylko rysunek 4.24 został nałożony na fragment dolnej linii tekstu. Ponadto brak chyba spójnika „z” w ostatnim zdaniu w podpisie rysunku 5.2. Wolałbym używania słowa „liczba”, a nie „ilość”, gdy dotyczy to wielkości przeliczalnych (np. „zliczonych koincydencji” w streszczeniu pracy). Można też zauważyć, że litera „ł” jest czasami poprzedzona niepotrzebną spacją.

W podsumowaniu mogę stwierdzić, że wyniki doświadczalne przedstawione w recenzowanej rozprawie są istotne naukowo. Autor rozprawy wykazał się dużą znajomością technik analizy danych doświadczalnych oraz prowadzenia symulacji komputerowych złożonego układu detekcyjnego. Pomimo zaobserwowanych problemów normalizacyjnych dobrze wykorzystał zebrane dane do ciekawych porównań z modelami teoretycznymi. Konkluzje tych porównań pokazują pewne obszary zmiennych kinematycznych, gdzie obliczenia modelowe nie są w stanie prawidłowo opisać danych pomiarowych. Praca zawiera bogaty zestaw wyników, które mogą być wykorzystane do porównania z kolejnymi modelami teoretycznymi.

Stwierdzam, że rozprawa przedstawiona przez magistra Parola spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Stawiam wniosek o dopuszczenie magistra Wiktora Parola do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



⁸ A. Ekström et al., Phys. Rev. Lett. **113**, 262504 (2014)

⁹ S. Elhatisari et al., Nature **528**, 111 (2015)