

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

Holendry, 23 sierpnia 2021

Recenzja rozprawy doktorskiej
zatytułowanej:

***Poszukiwanie jąder η -mezonowych helu w reakcji $pd \rightarrow dp\pi^0$
za pomocą układu detekcyjnego WASA-at-COSY***

autor: **Aleksander Khreptak**

promotor: prof. dr hab. Paweł Moskal

promotor pomocniczy: dr Magdalena Skurzok

Mgr Aleksander Khreptak przedstawił napisaną po polsku pracę zawierającą czternaście rozdziałów poprzedzonych streszczeniem (także w języku angielskim) oraz uzupełnioną dwoma załącznikami. Liczne jak na pracę doktorską rozdziały są zgrupowane w trzech zasadniczych blokach tematycznych. Razem ze spisem literatury rozprawa liczy 123 strony.

Rozprawa doktorska zawiera opis badań, przeprowadzonych w ramach współpracy WASA-at-COSY, dotyczących poszukiwania stanu związanego mezonu η w lekkim jądrze atomowym ${}^3\text{He}$. Badania te wpisują się w ważny i aktualny temat badawczy własności chromodynamiki kwantowej w układzie kilku nukleonów w obszarze nieperturbacyjnym. Przyciągający charakter oddziaływania protonu z obojętnym elektrycznie mezonem η uzasadnia poszukiwanie stanu związanego tego mezonu w jądrze atomowym. Aktywność eksperymentalna w tym zakresie trwa od kilku dziesięcioleci, jednak bez udanej obserwacji tego stanu. Zaawansowaną próbę stwierdzenia istnienia tego stanu podjął pan Aleksander Khreptak, prowadząc szczegółową analizę danych doświadczalnych z dedykowanego eksperymentu zrealizowanego na wiązce protonów akceleratora COSY w Jülich (Niemcy).

Tematyka badawcza przedstawiona w rozprawie jest bardzo aktualna. O ile badanie struktury deuteronu oraz rozpraszania nukleon-nukleon (NN) pozwoliły na opis własności potencjału NN, to jednak jego zastosowanie do układu trzech i więcej nukleonów pokazało rozbieżności z wynikami eksperymentalnymi. Nieperturbacyjny obszar chromodynamiki kwantowej generuje nieaddytywne efekty, co w konsekwencji prowadzić może do zjawisk jak niestabilne stany związane nukleonów z innymi hadronami, inne niż znane od prawie siedmiu dekad hiperjądra. Tego typu efekty mogą pomóc zrozumieć budowę gwiazd neutronowych, gdzie obserwacje obiektów o masie większej niż dwie masy Słońca wymagają spójnego wyjaśnienia, zapewne wykraczającego poza wyłącznie nukleonowy opis gwiazdy. Także w tym sensie badania opisane w pracy pana Khreptaka należą do aktualnych tematów badawczych fizyki subatomowej.

W pierwszej części rozprawy autor uzasadnił celowość podjętych badań, opisując podstawy teoretyczne istnienia jąder mezonowych oraz eksperymentalny próby stwierdzenia ich istnienia. Szacowane przekroje czynne na poziomie nanobarnów czynią pomiar eksperymentalny trudnym zagadnieniem. Niemniej jednak pewne efekty doświadczalne wskazują na istnienie stanu związanego mezonu η z jądrem helu, jak również czas życia tego mezonu w tak lekkim jądrze powinien być dłuższy, co powinno ułatwić jego obserwację. Autor szczegółowo omówił dotychczas podejmowane próby eksperymentalne. Dyskusja wyników zawartych w Rys. 2.1 zyskałaby na przejrzystości, gdyby oś pozioma obu paneli tego rysunku przedstawiała taką samą zmienną energetyczną. Kwadratowa zależność energii dostępnej (oś pozioma na lewym panelu) od pędu (oś pozioma na prawym panelu) czyni to porównanie zaburzone wspomnianą zależnością.

Druga część rozprawy zawiera wszelkie szczegóły przeprowadzonego eksperymentu i jego analizy. Autor dokładnie omówił użyty detektor, nie pomijając jego długiej historii. Skanowanie energetyczne reakcji poprzez stopniową zmianę energii protonów w cyklu akceleracji pozwala szczegółowo badać obszar energii potencjalnego efektu. Pozytywne wrażenie robi też opis metod analizy oraz procedur symulacyjnych, niezbędnych dla tak złożonego detektora. Warto tu podkreślić, że program analizujący był identyczny dla danych doświadczalnych i dla rezultatów symulacji. Autor dokładnie omówił tak ważną dla eksperymentu identyfikację mezonów π^0 z analizy masy niezmienniczej par $\gamma\gamma$. Analiza ta prowadziła do nieznacznej, ale ważnej dla precyzji pomiarów, korekty kalibracji energetycznej detektorów promieniowania gamma. Dla opisu tła w rozkładzie masy niezmienniczej par $\gamma\gamma$ (Rys. 8.1) zastosowano wielomian siódmego stopnia. Nasuwa się pytanie, czy próbowano opisać to tło metodą mieszania zdarzeń.

W pracy opisano i uzasadniono zastosowane cięcia kinematyczne, które miały na celu uwypuklenie poszukiwanego efektu. Dużo pracy poświęcono dla ważnego wyniku, jakim jest całkowita świetlność eksperymentu.

Ostatnia (trzecia) część zawiera dyskusję wyników. W danych doświadczalnych (Rys.11.1) nie widać poszukiwanego efektu i autor mógł tylko wyznaczyć górną granicę całkowitego przekroju czynnego. Zrobił to dla wielu hipotetycznych parametrów tego stanu (Tabela 12.1). Uwzględniając wyniki analizy niepewności systematycznych z rozdziału 13, wartości górnej granicy przekroju czynnego we wspomnianej tabeli mogły być podane z dokładnością do dwóch miejsc znaczących.

Podsumowując, rozprawa doktorska bardzo dobrze świadczy o kompetencjach jej autora. Opis złożonego eksperymentu, analiza danych i wnioski są przedstawione kompletnie, w sposób świadczący o bardzo dobrym zrozumieniu zjawisk fizycznych i technik pomiarowych. Podjęty problem naukowy został całościowo potraktowany i rozwiązany. Natura nie pozwoliła autorowi rozprawy (i jego współpracownikom z WASA-at-COSY) zobaczyć poszukiwanego efektu fizycznego – wyznaczone zostały tylko górne ograniczenia. Skala i jakość eksperymentu analizowanego w pracy doktorskiej pana Khreptaka pozwala przypuszczać, że wyznaczone ograniczenia przekroju czynnego bardzo długo nie zostaną poprawione (lub efekt zostanie zaobserwowany?). W mojej opinii otrzymane wyniki długo pozostaną najlepszymi ograniczeniami i będą wykorzystywane w dalszych badaniach zagadnienia istnienia stanu związanego mezonu η w jądrze atomowym.

Wspomniane w recenzji zapytanie i komentarz nie dotyczą meritum rozprawy, którą oceniam bardzo wysoko. Z obowiązku recenzenta należałoby wspomnieć o dostrzeżonych drobnych usterkach. Ale nie mogę tego zrobić, gdyż takowych nie zauważyłem. Autor rozprawy wykonał

bardzo staranną korektę tekstu swojej pracy, co dobrze świadczy o jego trosce o prawidłowe przekazanie treści uzyskanych wyników naukowych, jak i o szacunku wobec czytelników. Obie sprawy warte pochwały.

Stwierdzam, że rozprawa przedstawiona przez mgr. Aleksandra Khreptaka jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego, spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania, a tym samym stawiam wniosek o dopuszczenie pana magistra Aleksandra Khreptaka do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Tomasz Matulewicz

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

Holendry, 23 sierpnia 2021

**Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej
mgr. Aleksandra Khreptaka**

zatytułowanej:

*Poszukiwanie jąder η -mezonowych helu w reakcji $pd \rightarrow dp\pi^0$
za pomocą układu detekcyjnego WASA-at-COSY*

Górne ograniczenia na wartość przekroju czynnego na utworzenie jądra η -mezonowego helu jest ważnym wynikiem dla badań własności oddziaływań silnych. Nie udało się zaobserwować poszukiwanego stanu związanego pomimo bardzo zaawansowanego przedsięwzięcia eksperymentalnego. Wyznaczone górne oszacowanie zapewne długo pozostanie granicą trudną do przekroczenia bez znaczącego postępu w technikach doświadczalnych, a więc rezultaty zawarte w pracy doktorskiej pana Khreptaka mają wszelkie szanse na długotrwały wpływ na badania w tym obszarze fizyki hadronowej.

Tomasz Matulewicz