

Sławomir Wycech  
Prof. dr hab.  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych  
Zakład Fizyki Teoretycznej  
Warszawa Pasteura 7

### **Opinia o rozprawie doktorskiej magistra Aleksandra Khreptaka**

W związku z przewodem doktorskim Pana Aleksandra Khreptaka przedstawiam Wydziałowi Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego opinię o rozprawie naukowej zatytułowanej

**„Search for  $\eta$ -mesic helium in the  $pd \rightarrow d p \pi^0$  reaction by means of the WASA-at-COSY detector”**

Jądra mezonowe, czyli stany quasi-związane mezonów i jąder atomowych są obiektem interesujących badań eksperymentalnych i teoretycznych. Zainteresowanie związane jest z możliwością badania nowego mechanizmu przyciągania w materii jądrowej. Polega on na powstawaniu stanów pobudzonych pewnego nukleonu i przekazywaniu tego pobudzenia kolejnym nukleonom. Taki mechanizm ma miejsce w przypadku mezonu K jak też mezonu eta i różni się od zwykłego mechanizmu sił jądrowych polegającym na wymianie mezonów. Innym elementem zainteresowania jest zachowanie w materii jądrowej cząstek zawierających kwarki „dziwne”.

Praca doktorska mgr Alexandra Khreptaka i związany z nią eksperyment stanowi istotny element w ciągu poszukiwań stanów jądrowych tego typu. Wyniki opublikowane są w Physical Review C, Acta Physica Polonica B oraz w dwu materiałach konferencyjnych.

Póki co jest to próba o największej światowej statystyce, uzyskana z udziałem autora na urządzeniu badawczym WASA ulokowanym w Centrum Badawczym w Juelich, ( Acta Physica Polonica 2017)

Eksperyment szuka procesu o bardzo małym prawdopodobieństwie i wymaga wyłowienia zdarzeń z ogromnego tła. Proces interesujący to silnie skorelowana trójka : deutron, nukleon i mezon pi. Konstrukcja detektora WASA pozwala na wykrycie hadronów w przedniej części urządzenia a wykrycie mezonów ma miejsce w jego centralnej części. Dopuszczalny kąt bryłowy dostępny dla barionów jest zatem inny niż kąt bryłowy dopuszczalny dla mezonów. Wyciągnięcie szukanych zdarzeń z tła jest zatem utrudnione i trzeba użyć modelu rozpadu poszukiwanego jądra mezonowego. Analiza zakłada, że rozpad przechodzi przez fazę pobudzenia nukleonu do stanu  $N^*(1535)$ , który z kolei rozpada się na mezon i nukleon. Założenie to wydaje się być w pełni uzasadnione i oparte na doświadczeniach formowania stanu  $N^*$  w zderzeniach pion nukleon. Z kolei wymagana jest znajomość funkcji falowej  $N^*$  w układzie trzech związanych barionów  $NNN^*$ . Ta determinuje rozkład pędów  $N^*$  określający kąt bryłowy rozpadu i możliwość wykrycia szukanej korelacji protonu, deutronu i mezonu. Ta część nie ma weryfikacji eksperymentalnej, wydaje się jednak, że słabość wiązania  $NNN^*$  jest spójna z brakiem wyraźnego sygnału istnienia wiązania stanu  $NNN\eta$ . Taki jest też wynik analizy eksperymentu dokonanej przez magistra Khreptaka.

W sumie eksperyment i jego analiza doprowadzają do wyniku przedstawiającego krzywe wzbudzenia. Obejmują one obszar energii od 30 MeV w dół do – 70 MeV poniżej progu  $He^3$ . Do wyników eksperymentu magister Khreptak dopasowuje quasi-liniowe tło i szuka dopuszczalnego dodatku o rezonansowym kształcie. W konkluzji, autor nie znajduje przekonującego argumentu na rzecz

istnienia stanu jądrowego mezonu  $\eta$ -He<sup>3</sup> znajdując równocześnie ograniczenie rzędu 13- do 26 nano-barnów na przekrój czynny jego uformowania. W porównaniu z poprzednimi eksperymentami stanowi to ponad trzykrotne zmniejszenie tegoż ograniczenia. Wynik jest interesujący i ważny, na pewno wyklucza znaczną część modeli teoretycznych i poddaje w wątpliwość teoretyczną wiedzę o zachowaniu się mezonu  $\eta$  w materii jądrowej. Jest bardzo, w moim przekonaniu, cenny.

Niemniej, w związku z końcową interpretacją narzuca mi się pytanie. Dotyczy ono zagadkowego punktu w segmencie (-2,+2) MeV energii kinetycznej  $\eta$ -He<sup>3</sup> energii wyraźnie odbiegającego od krzywej tła. Punkt ten jeśli ma sens pomiarowy pozwala na podjęcie próby interpretowania go jako sygnału istnienia stanu wirtualnego. Stan taki jest dopuszczony przez, zmierzoną już, znaczna długość rozpraszania  $\eta$ -He<sup>3</sup>. Ponadto istnieją też określone przewidywania teoretyczne. W odróżnieniu od stanu quasi-związanego, stan wirtualny daje efekt „wąski” w skali energetycznej. Punkt ten nie jest dyskutowany w rozprawie, czy jest jakiś powód?

Rozprawa doktorska, prócz omówienia aspektów analizy wyniku zawiera skrupulatny i jasny opis aparatury przyspieszającej, detektora, procesu zbierania danych oraz dyskusji niepewności. Napisana jest niezwykle staranną polszczyzną. Literatura zebrana jest szeroko i starannie.

Sumując uważam że rozprawa wnosi znaczący wkład do poszukiwań stanów jądrowych mezonów  $\eta$ .

Uważam też, że rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

Warszawa 30/08/2021

