

Sławomir Wycech
Prof.dr hab.
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Zakład Fizyki Teoretycznej
Warszawa Hoża 69

Opinia o rozprawie doktorskiej magistra Aleksandra Rundela

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

„Search for η –mesic ^3He in non-mesonic final states”

Poszukiwanie stanów jądrowych mezonu η stanowi interesujący problem teoretyczny ale, niestety, jest równocześnie bardzo trudnym problemem eksperymentalnym.

Istnienie stanów związanych tego mezonu w jądrach atomowych było przewidywane od ćwierćwiecza i opierało się na silnym przyciąganiu mezonu η - nukleonu. Obserwowane eksperymentalnie w postaci stanu rezonansowego $S(1530)$ oraz anomalnie wysokich wzbudzeń przy progu produkcji mezonu w zderzeniach protonu i deuteronu. Normalnym oczekiwaniem było istnienie stanów wirtualnych mezonu η w bardzo lekkich jądrach atomowych i stanów związanych w jądrach cięższych. Tych ostatnich nie udało się póki co odkryć. Istnieją silne wskazówki eksperymentalne w procesach oddziaływań końcowych η i jądra ^3He że stan związany takiej pary istnieje. Z kolei wskazania dla pary η i jądra ^4He że są raczej negatywne. Być może jest to żart natury, z oczekiwania fizyków że trzy nukleony są zdolne

przywiązać mezon η a cztery już nie. Taki paradoks ma miejsce za stanami jądrowymi hiperonu Σ . W ostatnim przypadku winę ponosi zapewne statystyka fermionów ale w przypadku mezonu η sprawa jest bardziej zagadkowa.

Stąd bierze się zainteresowanie zagadnieniem i potrzeba nowych weryfikacji eksperymentalnych.

Zagadnienie oddziaływań jądrowych jest badane intensywnie przez zespół fizyków z U J w centrum badawczym Juelich. Pan Rundel bierze udział w tych eksperymentach i jest współautorem szeregu związanych publikacji. Rozprawa doktorska poświęcona jest jednemu z tych eksperymentów poszukującemu naturalnych sposobów rozpadu mezonu η związanego w jądrze ^3He . Jej celem jest stwierdzenie czy istnieje stan związany i jak często jest tworzony w reakcji zderzenia protonu i deuteronu.

Rozprawa doktorska składa się z trzech rozdziałów części wstępnej zawierającej przedstawienie stanu badań teoretycznych, opisu akceleratora COSY i detektora WASA oraz ogólnych warunków eksperymentu. Ta część jest krótka i jasna. Czyta się dobrze. Następnie autor przystępuje do części właściwej czyli szczegółowego opisu i analizy wyników eksperymentu. Opis ten jest ściśle związany z jego rolą w zespole.

Rozdział 4 poświęcony jest wyznaczeniu świetności (luminosity) wiązki protonów użytych w dalszych badaniach. W tym celu używa się dwu reakcji. Pierwsza to formacja pary η ^3He którą można badać wiązkę powyżej progu produkcji mezonu. Druga reakcja to rozbiecie deuteronu i wyłowienie konfiguracji w których neutron pozostaje widzem (spektatorem) . Ta pozwala ocenić świetność poniżej progu formacji η czyli obejmuje obszar poszukiwanego wiązania pary η ^3He . Ponieważ nigdy nie uczestniczyłem w tego typu robocie czytam ten rozdział jako podręcznik, który daje się zrozumieć. Autor wybiera proces mezonowy do precyzyjnego określenia energii wiązki a proces rozbiecia do oceny świetności. Obie metody oceny świetności są zgodne przy wyższych energiach badanego obszaru (30) MeV ale rozbiegają się przy schodzeniu do

progu. Czy można określić dlaczego ? Czy ma to znaczenie w dalszych badaniach ?

Zapewne nie, ale mam dwa pytania związane z procedurą :

(1) analiza formacji mezonu opiera się na ekstrapolacji parametrów rozkładu kąтового do niskich pędów (fig 4.1). Pewien niepokój budzi stała wielkość parametru β która nawet na progu daje zależność kątową przekroju czynnego.

(2) Badając rozbiecie deuteronu w modelu neutronu spektatora zakłada się, i słusznie, że energię wiązania deuteronu „ bierze na siebie „ uderzony proton. Dlaczego w energii protonu nie uwzględnia się energii odrzutu neutronu ? Tak się zazwyczaj postępuje w zagadnieniu 3 ciał. To jest tylko 1.5 MeV ale być może to ma też jakieś znaczenie. Ta uwaga odnosi się również do głównej części eksperymentu.

Rozdział 5 poświęcony jest analizie właściwego eksperymentu jakim jest znalezienie dominujących kanałów rozpadu mezonu η związanego w jądrze Helu 3 przy założeniu że taki stan związany istnieje. Pomysł takiego badania wyrósł z poprzednich prób zespołu z UJ polegających na znalezieniu głównego kanału rozpadu całego układu mezonu η i jądra atomowego.

Jest nim, zapewne, przekształcenie mezonu η na lżejszy mezon π . Próby takie nie przyniosły jednak jednoznacznych wyników uzyskując jedynie oszacowanie górne procesu formowania stanu jądrowego. Uchwycenie naturalnego sposobu rozpadu związanego w jądrze mezonu jest piękną, alternatywną metodą. Jej trudnością jest niewielka częstość procesu a wielką zaletą jest uniknięcie oddziaływań końcowych produktów rozpadu.

Pierwszym z badanych rozpadów jest emisja dwu fotonów stanowiąca około czwartej części całkowitego prawdopodobieństwa rozpadu. Ze względu na tło pochodzące od innych procesów autor starannie bada czy para $\gamma\gamma$ wywodzi się z tego samego źródła będącego mezonem η . W procesach symulacyjnych sprawdza spodziewany zakres opóźnienia w czasie detekcji γ i detekcji ^3He , Podobnie postępuje z różnicami czasu detekcji obu fotonów. Ocenia cosinus kąta rozwarcia pary $\gamma\gamma$ jak też i sam kąt. Wyniki pozwalają

na określenie poziomu cięć kinematycznych które następnie są wprowadzone do analizy danych. W ten sposób uzyskany jest zasadniczy wykres liczby zdarzeń w funkcji energii względnej w układzie ${}^3\text{He } \eta$. Powyżej progu uzyskana jest zgodność kształtu widma ${}^3\text{He } \gamma\gamma$ i ${}^3\text{He } \eta$ co świadczy o poprawności cięć.

Drugim, badanym rozpadem jest przejście $\eta \rightarrow 3\pi^0$, po którym bardzo szybko następuje emisja 6 fotonów. Analiza jest teraz bardziej złożona choć opiera się na podobnej procedurze.

W sumie eksperyment i jego analiza doprowadzają do wyniku przedstawiającego krzywe wzbudzenia dla dwu badanych procesów emisji dwu fotonów i sześciu fotonów. Dla procesu dwufotonowego jest to w pierwszym przybliżeniu linia prosta obejmująca obszar energii w dół od progu ${}^3\text{He}$ do -70 MeV nie wykazująca istotnej rezonansowej struktury. Wrażenie robi to, że błąd pomiaru oceniony jest jako niewielki.

Kluczowy rozdział to interpretacja krzywych wzbudzenia w celu wykrycia stanu związanego. Do wyników eksperymentu magister Rundel dopasowuje liniowe tło i szuka dopuszczalnego dodatku o rezonansowym kształcie. W konkluzji, autor nie znajduje przekonującego argumentu na rzecz istnienia stanu jądrowego mezonu η znajdując równocześnie ograniczenie rzędu 10 nanobarnów na przekrój czynny jego uformowania. Może ciekawym byłoby też sprawdzenie czy ograniczenie zmienia się jeśli dopuści się możliwości interferencji tła.

Wynik jest interesujący i ważny, na pewno wyklucza znaczną część modeli teoretycznych i poddaje w wątpliwość teoretyczną wiedzę o zachowaniu się mezonu η w materii jądrowej. Jest bardzo, w moim przekonaniu, cenny. Niemniej, wydaje mi się że pozostawia pewne wątpliwości w skrajnym obszarze energii tuż poniżej progu

${}^3\text{He}$ i mezonu η .

Strona redakcyjna rozprawy w części ogólnej i uzupełnieniach napisana jest jasno. Część poświęcona analizie eksperymentu, podkreśla, interesującą skądinąd, stronę techniczną mniej uwagi poświęcając stronie fizycznej. Ma to zalety ale czyta się trudniej. Świadczy równocześnie o znacznej samodzielności autora.

Sumując uważam że rozprawa wnosi znaczący wkład do poszukiwań stanów jądrowych mezonów η .

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

Warszawa 16/01/2019

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. K.' or similar, written in a cursive style.