

Katowice, 3 listopada 2018

dr hab. Elżbieta Stephan prof.UŚ
Zakład Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski
ul. 75 Pułku Piechoty
41-300 Chorzów
tel. (32) 349 7646
elzbieta.stephan@us.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej Damiana Gila
Near-Threshold Kaon Pair Production in Proton-Proton Collisions.

Dysertacja dotyczy produkcji mezonów w zderzeniach protonów, przede wszystkim przyprogowej produkcji par kaonów. Celem przeprowadzonych pomiarów było zbadanie oddziaływań w stanie końcowym pary K^+K^- oraz par proton-kaon. Realizacja tego celu jest ważna dla weryfikacji tezy o tzw. molekularnym charakterze niektórych mezonów, istnieją bowiem przesłanki, że mezony $f_0(980)$ i $a_0(980)$ są molekułami kaonowymi. Inną motywacją do studiowania procesu produkcji i oddziaływań kaonów są badania dotyczące modyfikacji własności kaonów w gęstej materii jądrowej.

Praca doktorska mgra Damiana Gila jest napisana w języku angielskim, ma logiczny układ i składa się z sześciu rozdziałów oraz bibliografii. Po krótkim wstępie w rozdziale 1, w rozdziale 2 została przedstawiona motywacja teoretyczna prowadzonych badań, a w rozdziale 3 - opis układu eksperymentalnego. Dwa następne rozdziały są poświęcone analizie danych i uzyskanym wynikom, przy czym rozdział 4 odnosi do głównego celu pracy - analizy produkcji par kaonów, natomiast w rozdziale 5 omówiona została analiza przypadków z produkcją mezonów ω lub η' . Ostatni rozdział stanowi podsumowanie przeprowadzonych analiz oraz prezentuje wnioski płynące z uzyskanych wyników.

Niniejsza praca doktorska stanowi element szerokiego programu badawczego realizowanego w ramach eksperymentu COSY-11, który dostarczył systematycznych danych dotyczących produkcji mezonów, a przede wszystkim kaonów, w zderzeniach proton-proton. Szczególnie należy podkreślić znaczenie badań prowadzonych blisko progu na produkcję mezonów danego typu: takich danych jest w literaturze niewiele z uwagi na liczne trudności w ich uzyskaniu. W pobliżu progu przekrój czynny jest niewielki, a konkurujące reakcje (zwłaszcza produkcja wielu pionów) mogą mieć bardzo duży przyczynek do tła. Ponadto, z uwagi na gwałtowne zmiany przekroju czynnego w obszarze bliskim progu, wartościowe wyniki można uzyskać tylko pod warunkiem precyzyjnej kontroli energii wiązki. Z drugiej strony przekrój czynny w tym obszarze wykazuje szczególnie wysoką czułość na oddziaływania cząstek w stanie końcowym, tzw. FSI, jest to więc właściwe miejsce do badania FSI cząstek w kanale wyjściowym. Należy jednak pamiętać, że wszelkie rozstrzygnięcia dotyczące mechanizmu reakcji, w tym wpływu oddziaływań w stanie końcowym na wartości przekroju czynnego, wymagają wysokiej jakości statystycznej i systematycznej wyników. To z kolei stawia szczególne wymagania przed eksperymentatorami - konieczne są właściwe warunki pomiaru i precyzyjna analiza danych. Eksperyment COSY-11 został już wcześniej zoptymalizowany pod kątem aparatury oraz wyboru

zdarzeń poprzez odpowiednie warunki triggera, natomiast analiza danych stanowi zawsze poważne wyzwanie.

Wynikiem pracy doktorskiej mgra Damiana Gila są przekroje czynne na produkcję mezonów w zderzeniach proton-proton przy wybranym pędzie wiązki 3.316 GeV/c, co odpowiada energii zderzających się protonów bardzo bliskiej progu na produkcję par K^+K^- (4,5 MeV ponad progiem). Precyzyjna kalibracja wszystkich elementów detektora, selekcja zdarzeń poprzez cięcia kinematyczne, procedury odjęcia tła - wszystkie etapy analizy zostały wykonane bardzo starannie i za każdym razem dane zostały porównane z symulacjami Monte Carlo. Ma to szczególne znaczenie w przypadku cięć, pozwala też kontrolować, na ile "rozumiemy" dane eksperymentalne. Szkoda, że w niektórych przypadkach (np. rys. 4.15) zabrakło w tekście komentarza co do obserwowanych różnic między obrazem dla symulacji i eksperymentu, co zapewne wynika z oczywistości tych różnic dla autora.

W przypadku mezonów ω i η' uzyskany wynik uzupełnia istniejącą bazę danych całkowitych przekrojów czynnych dla każdego z tych mezonów o nowy punkt reprezentujący wysoką precyzję statystyczną i systematyczną. Punkty te doskonale wpisują się w trend dotychczasowych danych i są zgodne z opisem teoretycznym opartym o model wymiany pojedynczego pionu (niestety o tych obliczeniach nie ma w pracy wielu informacji, a odwołanie do publikacji teoretycznej jest prawdopodobnie błędne). Niewątpliwie głównym wynikiem pracy jest wyznaczenie ograniczenia na przekrój czynny w przypadku przyprogowej produkcji pary kaonów. Co ciekawe, ten wynik nie wpisuje się w zależność energetyczną dotychczasowych danych, w większości zmierzonych w ramach eksperymentu COSY-11, co sugeruje gwałtowny spadek przekroju czynnego w badanym obszarze energii, znacznie poniżej obliczeń teoretycznych. Autor podaje możliwe interpretacje takiego zjawiska: jedna z nich jest związana z oddziaływaniem kulombowskim, druga, ciekawsza, z hipotezą tworzenia molekuly kaonowej. Zapewne do rozstrzygnięcia tych wątpliwości niezbędny byłby dalszy rozwój opisu teoretycznego, również pod kątem pełnego uwzględnienia oddziaływań kulombowskich.

Praca została przygotowana bardzo starannie od strony edytorskiej, zarówno w zakresie językowym, jak i prezentacji treści na rysunkach i wykresach. Pomimo dość niewielkiej objętości zawiera przejrzysty i systematyczny opis wszystkich etapów analizy danych.

Poniżej przedstawiam kilka uwag i pytań, które nasunęły się podczas czytania pracy:

1. W tabeli 4.2 znalazły się wartości scałkowanej świetlności uzyskane dla poszczególnych kątów. Różnice pomiędzy nimi przekraczają istotnie niepewności statystyczne, w skrajnych przypadkach wartości wynoszą 1.26 ± 0.08 i 1.70 ± 0.08 . Tego zresztą można oczekiwać na podstawie wykresu 4.19: prezentowane w tej pracy wyniki nie są (co do kształtu zależności kątowej) statystycznie zgodne z użytymi do normalizacji przekrojami czynnymi zmierzonymi przez eksperyment EDDA. Można to interpretować jako niepewność systematyczną, ale ten problem nie jest przedyskutowany i nie zostało przedstawione możliwe źródło różnic. Wszystkie punkty uwzględnione są w średniej, a średnia z punktów statystycznie niezgodnych może budzić pewne wątpliwości. Podany błąd systematyczny świetlności obejmuje tylko błąd systematyczny danych EDDA oraz błąd określenia kąta bryłowego, obydwie niewielkie, czy nie jest wobec tego zaniżony?
2. Na str. 23 omawiana jest identyfikacja cząstek na podstawie TOF. W ramach opisu kalibracji TOF pojawia się warunek (pod koniec rozdziału 4.1.2): "Only events with identified proton tracks were used in this calibration" - czy to oznacza, że przy kalibracji TOF wykorzystywano już identyfikację cząstek na podstawie TOF?

3. Jednym z etapów prowadzących do uzyskania wartości całkowitego przekroju czynnego na produkcję mezonów jest określenie akceptancji kątowej układu, która jest niewielka, szczególnie w przypadku mezonu ω : 0.061 %. Wymagana jest więc olbrzymia korekta na akceptancję, co z kolei implikuje duży błąd systematyczny w przypadku niedokładności wyznaczenia akceptancji na podstawie Monte Carlo. Jakie założenia zostały przyjęte w tej symulacji (losowanie z przestrzenią fazową?) i na ile można być pewnym ich zasadności?
4. Na rysunkach 4.20 i 4.21 został zaprezentowany najważniejszy wynik: ograniczenie na przekrój czynny na produkcję par kaonów. Czy nie byłoby bardziej właściwym sposobem prezentacji narysowanie wyniku jako prostokąta uwzględniającego znaczną niepewność energii? Szczególnie w przypadku wyników obliczeń teoretycznych prezentowanych na wykresie 4.21 może to zmniejszyć odległość wyniku od krzywych teoretycznych.
5. Po podsumowaniu brakuje mi pewnego spojrzenia w przyszłość tej dziedziny fizyki: czy potrzebne są/istnieje realna szansa na kolejne pomiary, oczywiście już nie w ramach COSY-11, które pozwolą lepiej zrozumieć rolę FSI w badanych procesach, czy następuje rozwój obliczeń teoretycznych? Czy i jakie konsekwencje mają uzyskane wyniki dla badania zderzeń ciężkich jonów?

Powyższe uwagi krytyczne i pytania nie wpływają na jednoznacznie pozytywną ocenę pracy doktorskiej, która z sukcesem podejmuje ważne i trudne zagadnienia fizyki mezonowej, opierając się na badaniach elementarnych zderzeń proton-proton w obszarze przyprogowym.

Na podstawie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana magistra Damiana Gila pt. *Near-Threshold Kaon Pair Production in Proton-Proton Collision* stwierdzam, że spełnia ona warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Elżbieta Stephan