



Prof. dr hab. Piotr Salabura

Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego

Uniwersytet Jagielloński

30-059 Kraków

23.08.2016

Kraków

Recenzja pracy doktorskiej mgr. Antoniego Marcinka zatytułowana
„ ϕ meson production in proton-proton collisions in the NA61/SHINE
experiment at CERN SPS”

Praca doktorska mgr. Marcinka „ ϕ meson Production in proton-proton collisions in the NA61/SHINE experiment at CERN SPS” przedstawia wyniki pomiaru inkluzywnej produkcji mezonu ϕ w zderzeniach proton-proton z tarczą stacjonarną oraz pędem wiązki 158, 80, 40 GeV/c. Dla dwóch pomiarów przy wyższych energiach po raz pierwszy uzyskano podwójnie różniczkowe przekroje czynne w funkcji pędu poprzecznego i prędkości a dla pędu 40 GeV/c pojedyncze widma. Otrzymano także krotności całkowite na produkcje które, wraz z rozkładami różniczkowymi, porównano do wyników modeli teoretycznych EPOS (v.199), PYTHIA (v.6) oraz UrQMD (3.4) oraz w przypadku krotności całkowitej także do modelu statystycznej hadronizacji (Becattini et. al, V.Vovchenko et. al.). Stwierdzono iż żaden z modeli nie opisuje wszystkich cech produkcji. Wyniki uzyskane dla 158 GeV/c porównano także do wcześniejszych wyników eksperymentu NA49 dla tego samego systemu oraz systemu Pb+Pb, dla którego stanowią cenną referencję.

Badanie produkcja mezonu ϕ jest szczególnie interesujące ze względu na jego skład kwarkowy, który jest prawie w zupełności określony przez kwarki dziwne (para kwark-antykwar) z małą domieszką kwarków lekkich. W szczególności nie jest jasne jak interpretować istotną nadwyżkę krotności produkcji mezonu w zderzeniach ciężko-

jonowych w stosunku do tej obserwowanej w zderzeniach proton-proton czy pion-proton która jest silnie (choć także tylko częściowo) tłumiona przez regułę Okubo-Zweig-Izuka (OZI) opisującej produkcję cząstek wg. diagramów wymagających przerwania linii kwarkowych. Z jednej strony interpretacje w.w efektu łączą ze zwiększoną produkcją dziwności w zderzeniach ciężkich jonów tłumaczoną przez modele statystycznej hadronizacji. Z drugiej strony mechanizm produkcji mezonu w zderzeniach nukleon-nukleon nie jest do końca jasny i wymaga istotnego zwiększania informacji eksperymentalnej, która pomimo upływu wielu lat jest bardzo skromna. Temu wyzwaniu naprzeciw wychodzi cel niniejszej rozprawy doktorskiej.

Eksperyment przeprowadzono przy pomocy spektrometru NA61/SHINE, sukcesora zasłużonego eksperymentu NA49, umiejscowionego na przyspieszacz SPS w CERN. Głównym celem eksperymentu jest poszukiwanie punktu krytycznego w diagramie fazowym materii jądrowej poprzez pomiar produkcji cząstek, a w szczególności ich fluktuacji, w szerokim zakresie wielkości oraz energii zderzanych systemów. W tym kontekście pomiar mezonu ϕ w zderzeniach proton-proton jest tylko jednym z wielu badanych stanów końcowych. NA61/SHINE ma także bogaty program badawczy związany z badaniami oscylacji neutrin w eksperymencie T2K w Japoni poprzez pomiar produkcji pionów z repliki tarczy stosowanej w.w eksperymencie.

Praca doktorska została napisana w języku angielskim i składa się z krótkiego wstępu z opisem głównych cech produkcji mezonu, zwięzłego opisu eksperymentu NA61/SHINE (rozdział 2) i metody kalibracji detektorów projekcji czasowej TPC (rozdział 3), metodologii analizy (rozdział 4) oraz rozdziału (5) zawierającego wyniki analizy i porównania z wybranymi modelami. Praca jest zakończona podsumowaniem oraz 3 krótkimi dodatkami.

Zasadniczą częścią pracy, zawierającą autorski wkład autora do przeprowadzonego eksperymentu, jest rozdział 4 oraz rozdział 5. Rozdział 4 przedstawia główną metodę pomiaru mezonu ϕ opartą na rekonstrukcji jego masy niezmienniczej za pomocą zmierzonych wektorów pędu pary kaonów pochodzących z jego rozpadu. Intensywność produkcji mezonu wyznaczono w funkcji pędu poprzecznego (p_t) i pospiesznosci (y) dopasowując w binach o zmiennej szerokości funkcję składającą się z parametryzacji tła oraz rezonansu do dwóch rozkładów masy niezmienniczej otrzymanych poprzez : (a) identyfikacja obu kaonów poprzez cięcia na korelacji strata

energii w TPC vs. pęd oraz(b) identyfikację jednego.. Taka strategii pozwoliła na wyznaczenie wydajności na identyfikację kaonów bezpośrednio z danych eksperymentalnych jako jeden z parametrów dopasowania oraz zwiększenia statystyki. Przeprowadzono szczegółowe badania parametryzacji kształtu tła (otrzymanego z mieszania zdarzeń), sygnału oraz różnych strategii dopasowania. Następnie uzyskane natężenia poprawiono na akceptancję oraz użyte warunki selekcji zdarzeń oraz dopasowania śladów i wierzchołka reakcji (podane w tabeli 4.2), które wyznaczono z symulacji Monte Carlo (rozdział 4.5). Wyznaczone współczynniki korekcji, oraz ich rozbicie na różne komponenty, przedstawiono w funkcji pędu poprzecznego (rysunki 4.14-4.16) dla różnych binów prędkości oraz pędów wiązki (dla najniższej energii tylko w funkcji jednej zmiennej). Następnie (rozdział 4.6), przeprowadzono bardzo drobiazgową analizę błędów systematycznych związanych z parametryzacją tła, sygnału, wydajności identyfikacji kaonów oraz współczynników korekcji ze względu na kryteria selekcji zdarzeń w funkcji w.w wielkości. Te dwa ostatnie przyczynki okazują się być dominujące (rysunek 4.29 , 4.30, 4.31), rzędu 10%, sięgając nawet do 20% dla pewnych wartości p_T lub y . Badania podsumowują rysunki 4.38-4.39 zestawiające różne błędy systematyczne oraz statystyczne. Wszystkie przedstawione badania są bardzo wartościowe, świadczą o dużym zrozumieniu zasad ekstrakcji sygnału oraz jego błędów systematycznych. Kosztowały niewątpliwie bardzo dużo pracy i mogą być uznane jako wzorzec godny naśladowania dla innych tego typu analiz. Jednakże sam opis jest dość trudny do prześledzenia, ponieważ wiele kluczowych informacji jest rozbitych po rozdziałach 4.5, i 4.6 oraz dodatkach (nie zawsze z dobrymi odnośnikami) co utrudnia lekturę prace. Także definicja współczynników korekcji i występujących w nich wielkości (wzory 4.24-4.29) oraz zrozumienie wyników przedstawionych na rys. 4.14-4.16, mogłaby być znacznie łatwiejsza do zrozumienia gdyby zastosować prostą definicję poprzez wzór (jak 4.17), zamiast opisu słownego (dość niejednoznacznego).

Rozdział 5 zawiera pełen zestaw rozkładów charakteryzujących inkluzyną produkcję mezonu ϕ : podwójne różniczkowe rozkłady krotności w funkcji p_T i y (rys. 5.1 dla $p=158$ i $p=80$ GeV/c) oraz pojedyncze różniczkowe rozkłady różniczkowe w funkcji p_T lub y (rys. 5.3 i 5.6) dla wszystkich energii. Dla dwóch wyższych energii przedstawiono także rozkłady tkz. masy poprzecznej (m_T) . Rozkłady dopasowano funkcjami wynikającymi z modelu termalnego i wyznaczono ich parametry: nachylenia widm mas poprzecznych (T), szerokości rozkładów prędkości (σ) . Wyznaczono

także całkowite krotności (stosując ekstrapolację, która jednak jest niewielka dzięki dużej akceptancji detektora) oraz krotności w obszarze centralnej prędkości (rys. 5.9).

Uzyskane parametry oraz krotności produkcji porównano z przewidywaniami modeli EPOS , PYTHIA, UrQMD . Biorąc pod uwagę zarówno błędy statystyczne jak i systematyczne (na rys.5.9 nie jest jasne jakie błędy zostały tutaj zaznaczone- prawdopodobnie tylko statystyczne) wydaje się iż uzyskana zgodność nie jest najgorsza (tutaj ocena autora wydaje się trochę zbyt surowa). Otrzymane szerokości rozkładów prędkości porównano także z tymi które zostały zmierzone dla zderzeń Pb+Pb przy energii 158 GeV konkludując (str. 127) iż popierają one modele koalescencji kaonów a są sprzeczne z założeniem zwiększonej produkcji dziwności w fazie partonowej. Nie są to konkluzje jasno uzasadnione w pracy, zwłaszcza biorąc pod uwagę widoczną niezgodność z przewidywaniami modelu koalescencji przedstawionymi na rys. 5.7. W interpretacji wyników nie uwzględniono także możliwości oddziaływania samego mezonu w materii jądrowej. W tym kontekście warto także nadmienić ostatnie pracy grupy UrQMD , Phys.Rev. C93 (2016) no.6, 064908 , interpretujące wyniki produkcji mezonu ϕ przy niższych energiach które wskazują na istotną rolę rezonansów barionowych które mają istotne znaczenie zarówno dla produkcji mezonu jaki i jego propagacji w materii jądrowej.

Krotności mezonu porównano także z wynikami innych eksperymentów na RHIC oraz LHC oraz modelu statystycznej hadronizacji (wg. Vovchenko et .al), który przewiduje znacznie większe krotności. Ponieważ modelowanie produkcji mezonu ϕ w modelach statystycznych jest niejednoznaczne ze względu na uwzględnienie jego struktury kwarkowej (supresja ze względu na produkcję dwóch kwarków dziwnych poprzez multiplikatywny faktor γ_s lub jej całkowity brak) istotnym byłoby podanie tych założeń w celu lepszego zinterpretowanie tej niezgodności.

Powyższe uwagi dotyczące sfery interpretacji wyników nie mają wpływu na moją bardzo wysoką ocenę pracy, zwłaszcza w jej obszarze analizy danych. Nie mam najmniejszych wątpliwości że przedstawiona praca spełnia warunki ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, dlatego te ż wnoszę do rady wydziału WFAIS o dopuszczenie mgr. Marcinka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z poważaniem

Piotr Salabura

