



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Kraków, 24.02.2025

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani Yulii Balkovej
zatytułowanej
„Measurements of strangeness production in heavy-ion collisions
in the NA61/SHINE experiment”**

Wydział

Fizyki

Astronomii

i Informatyki

Stosowanej

Przedstawioną mi do recenzji pracę doktorską przestudiowałem z przyjemnością i zainteresowaniem.

Dysertacja doktorska mgr Yulii Balkovej zastała przygotowana pod opieką Dr. hab. Seweryna Kowalskiego oraz dr hab. Szymona Puławskiego. Stanowi ona jeden z etapów szerokiego i bardzo interesującego poznawczo programu eksperymentalnego prowadzonego przez grupę NA61/SHINE w Europejskim Laboratorium Fizyki Cząstek (CERN). Miałem już przyjemność oceniać prace doktorskie z Katowickiej grupy fizyków wykonane w ramach tego eksperymentu. Poprzednie prace dotyczyły analizy zderzeń protonów z protonami, oraz jąder izotopów berylu ^7Be z jądrami izotopu berylu ^9Be , natomiast praca mgr Yulii Balkovej dotyczy reakcji jąder izotopów argonu ^{40}Ar z jądrami izotopu skandu ^{45}Sc . Podobnie jak w poprzednich recenzjach przed zasadniczą częścią oceny, dla zupełności, ponownie przytoczę, że celem zespołu NA61/SHINE jest badanie diagramu fazowego silnie oddziałującej materii, a w szczególności badanie obszaru na pograniczu gazu hadronowego i plazmy gluonowo kwarkowej w nadziei odkrycia punktu krytycznego silnie oddziałującej materii. Badania opierają się na pomiarach krotności wytwarzania różnego rodzaju cząstek w zderzeniach jąder atomowych o różnych masach i energiach. Pomiary reakcji jądrowych z udziałem protonów, jader atomów berylu, argonu, skandu, ksenonu, lantanu oraz ołowiu, w zakresie pędów wiązki od 13 GeV/c do 158 GeV/c na nukleon, wykonywane są za pomocą akceleratora SPS (z ang. Super Proton Synchrotron) oraz detektora NA61/SHINE. Tak szeroki zakres pędów i mas atomowych pozwala na pokrycie znacznej części diagramu fazowego w zakresie temperatur od około 120 do 180 MeV i chemicznego potencjału barionowego od około 250 do 550 MeV. Jedną z możliwych sygnatur powstania plazmy

Prof. dr hab. Paweł Moskal

Kierownik Zespołu
Zakładów Fizyki Jądrowej

Kierownik Zakładu Fizyki Cząstek
i jej Zastosowań

Uniwersytet Jagielloński

tel. +48 12 664-45-58

e-mail: p.moskal@uj.edu.pl

ul. prof. Stanisława
Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-48-90

fax +48(12) 664-49-05

e-mail:

wydzial.fais@uj.edu.pl

kwarkowo-gluonowej jest wzrost krotności cząstek zawierających kwarki dziwne.

Dlatego niezwykle istotne z punktu widzenia zasadniczego celu eksperymentu NA61/SHINE jest dokładne systematyczne zbadanie krotności wytwarzania różnych hadronów w funkcji prędkości, kąta poprzecznego, centralności i liczby nukleonów w zderzających się jądrach.

Celem pracy doktorskiej mgr Yulii Balkovej jest wyznaczenie średniej i różniczkowej krotności hiperonów Λ („neutronów” zawierających kwark dziwny) w funkcji prędkości poprzecznego i prędkości dla zderzeń jąder izotopu ^{40}Ar z jądrami izotopu skandu ^{45}Sc przy prędkościach wiązki 40, 75 i 150 A GeV/c. Z diagramu przedstawionego na Rys. 2.1 na stronie 16 wnioskuję, że eksperyment został wykonany w 2015 roku. Krotność hiperonów Λ dla tej reakcji jest jednym z elementów potrzebnych do uzyskania całościowego rozkładu krotności produkcji cząstek na diagramie fazowym dostępnych dla reakcji, które można zbadać na akceleratorze SPS, a także do wyznaczenia stosunku krotności produkcji cząstek dziwnych do krotności mezonów π , które nie zawierają kwarku dziwnego.

Recenzowana rozprawa składa się z pięciu rozdziałów poprzedzonych wstępem i zwięzonym podsumowaniem. We wstępie Autorka przedstawiła bardzo krótko cel pracy oraz opisała w skrócie swój wkład w badania zespołu NA61/SHINE. Opis wkładu Autorki w badania grupy NA61/SHINE bardzo pomaga w ocenie. W pierwszym rozdziale Autorka rozprawy, wychodząc od opisu podstaw Modelu Standardowego przedstawia teoretyczne podstawy badań prowadzonych przez grupę NA61/SHINE, w tym w szczególności wyjaśnia dlaczego wzrost krotności produkcji cząstek dziwnych mógłby świadczyć o powstawaniu plazmy kwarkowo-gluonowej w zderzeniu ciężkich jonów. W drugim rozdziale Autorka opisuje system eksperymentalny NA61/SHINE. Opis uwzględnia wiązkę, tarczę, system wyzwiania oraz system detekcyjny z uwzględnieniem detektorów do monitorowania wiązki i detektorów do rejestrowania cząstek z badanej reakcji. W trzecim rozdziale przedstawiony jest zarys kryteriów selekcji zdarzeń zastosowany w analizie danych, których dobór był wspomagany symulacjami komputerowymi z użyciem metod Monte-Carlo. Główne kryterium

Prof. dr hab. Paweł Moskal

Kierownik Zespołu
Zakładów Fizyki Jądrowej

Kierownik Zakładu Fizyki Cząstek
i jej Zastosowań

Uniwersytet Jagielloński

tel. +48 12 664-45-58

e-mail: p.moskal@uj.edu.pl

opiera się o zrekonstruowanie wierzchołka reakcji i sprawdzenie czy leży on w obszarze tarczy. Z wykresu 3.3 pokazanego na stronie 32 można wywnioskować, że zastosowanie tego kryterium wyklucza tło od reakcji poza tarczą na poziomie około 10^{-5} . Drugim kluczowym kryterium było wybranie 10% najbardziej centralnych zdarzeń w oparciu o pomiar energii w detektorze PSD (z ang. Projectile Spectator Detector). Następnie Autorka opisuje kryteria identyfikacji protonów i ujemnie naładowanych mezonów π oraz przedstawia przykładowe widma masy niezmienniczej (Rys. 3.11), na których wyraźnie widać sygnał dla zdarzeń, w których proton i mezon π pochodzą z rozpadu hiperonu Λ . Liczba zrekonstruowanych hiperonów Λ została obliczona osobno dla każdego badanego obszaru prędkości i pędu poprzecznego. Dzięki takiemu podejściu można dla każdego badanego przedziału wyznaczyć liczbę zdarzeń dla których proton i mezon π pochodzą z rozpadu hiperonu Λ i przyczynek od tła. Liczba zrekonstruowanych zdarzeń z produkcją hiperonu Λ została w kolejnym kroku skorygowana ze względu na akceptancję geometryczną i wydajność systemu detekcyjnego, stosunek rozgałęzień na rozpad $\Lambda \rightarrow p \pi$, oraz przyczynek od produkcji hiperonu Λ wynikających z rozpadu cięższych hiperonów. Niepewność systematyczna została oszacowana poprzez zmienianie kryteriów selekcji i sprawdzanie jak wartość obliczona ze zmienionym kryterium różni się od wartości pierwotnie przyjętej w analizie. Następnie jako niepewność systematyczną przyjęto pierwiastek z sumy wszystkich niepewności w kwadracie. Jest to standardowa metoda ale chciałbym ją przedyskutować w trakcie obrony ponieważ uważam, że ta metoda często prowadzi do zawyżenia niepewności systematycznej.

Rozdział czwarty dotyczy wyznaczenia przekrojów czynnych na reakcje jąder ^{40}Ar z jądrami ^{45}Sc dla 10% najbardziej centralnych zderzeń. Podwójnie różniczkowe przekroje czynne w funkcji pośpieszności i pędu poprzecznego zostały wyznaczone dla badanych energii wiązki. Autorka wyznaczyła także rozkłady krotności w funkcji pędu poprzecznego i w funkcji pośpieszności. Otrzymane wyniki zostały porównane z przewidywaniami uzyskanymi za pomocą modeli EPOS1.99 oraz SMASH 2.0 różniących się założeniami co do opisu reakcji zderzeń ciężkich jonów. Rozdział piąty podsumowuje otrzymane wyniki.

Prof. dr hab. Paweł Moskal

Kierownik Zespołu
Zakładów Fizyki Jądrowej

Kierownik Zakładu Fizyki Cząstek
i jej Zastosowań

Uniwersytet Jagielloński

tel. +48 12 664-45-58

e-mail: p.moskal@uj.edu.pl

Nie mam uwag krytycznych do istoty przeprowadzonej analizy i symulacji. Uważam, że analiza jest bardzo ciekawa i została przeprowadzona poprawnie. Chciałbym tylko zwrócić uwagę, że wstęp i konkluzje pracy pozostawiają lekki niedosyt związany z brakiem głębszego wyjaśnienia celu badań i ich interpretacji fizycznej. Wprawdzie opisane jest że, przedmiotem tej pracy są badania mające kluczowe znaczenie do wyznaczenia krotności hiperonów Λ w funkcji wielkości reagujących jąder, ale nie ma opisane jakie z tych badań wynikają wnioski. Porównanie z modelami pokazuje, że nie opisują one dobrze wyników doświadczalnych. Ciekawym byłoby dodać jakie z tego wynikają konkluzje do mechanizmu reakcji ciężkich jonów.

Prof. dr hab. Paweł Moskal

Kierownik Zespołu
Zakładów Fizyki Jądrowej

Kierownik Zakładu Fizyki Cząstek
i jej Zastosowań

Uniwersytet Jagielloński

tel. +48 12 663-55-58

e-mail: p.moskal@uj.edu.pl

W tekście Autorka nie uniknęła wyrażen żargonowych takich jak np. dodatnio czy ujemnie naładowane ślady cząstek np. na stronie 37. Na Rys. 3.23 na stronie 61 nie jest widoczna elipsa dla zdarzeń odpowiadających rozpadowi mezonu K_s na mezony π^+ i π^- . Warto, by Autorka pokreśliła znaczenie fizyczne otrzymanych wyników w trakcie prezentacji na obronie pracy doktorskiej. Uważam także, że tytuł pracy jest zbyt ogólny. Zasadnym byłoby uściślić, że chodzi o hiperon Λ i reakcje jąder argonu z jądrami skandiu.

Powyżej wypisałem tylko część zauważonych niedociągnięć. Nie wpływają one jednak znacząco na moją bardzo dobrą ocenę przeprowadzonej analizy i oryginalnych wyników uzyskanych przez Autorkę.

Reasumując, sądzę, że przedstawiona mi do recenzji dysertacja doktorska mgr Yulii Balkovej stanowi oryginalny i istotny wkład do bardzo interesujących i aktualnych badań doświadczalnych nad diagramem fazowym silnie oddziałującej materii. Uważam, że spełnia ona warunki stawiane dysertacjom na stopień doktora nauk fizycznych i dlatego wnoszę o dopuszczenie mgr Yulii Balkovej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Prof. dr hab. Paweł Moskal
Uniwersytet Jagielloński