



**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ**  
**im. Henryka Niewodniczańskiego**  
**POLSKIEJ AKADEMII NAUK**  
**ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków**

Dyrektor: (+48 12) 662 8200  
Centrala: (+48 12) 662 8000  
Fax: (+48 12) 662 8458  
E-mail: dyrektor@ifj.edu.pl

DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI  
WPŁYNĘŁO

2019 -03- 25 JBiuł.

Prof. dr hab. Marek Kowalski

Kraków, 19 marca 2019

**Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr inż. Magdaleny Kuich pt. „Kaon production in mid-rapidity in Be-Be collisions at the CERN SPS”**

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Magdaleny Kuich zawiera wyniki badań nad produkcją naładowanych hadronów:  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ , protonów i anty-protonów w nieelastycznych zderzeniach  ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$  przy pędach wiązki 30A, 40A, 75A i 150A GeV/c. Dane zostały zarejestrowane w eksperymencie NA61/SHINE na akceleratorze SPS w CERN.

Doktorantka uczestniczy w eksperymencie NA61/SHINE od roku 2013. Brała udział w zbieraniu danych i nadzorowaniu pracy głównych detektorów śladowych eksperymentu – Komór Projekcji Czasowej (TPC). Była także odpowiedzialna za modernizację systemu monitorowania prędkości dryfu w gazie TPC. Oprócz tego była zaangażowana w kalibrację detektora i analizę danych. Wyniki uzyskane w trakcie tej analizy stanowią podstawę recenzowanej rozprawy.

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów oraz 4 dodatków.

Rozdział 1 to wprowadzenie, w którym zawarto podstawowe informacje dotyczące Standardowego Modelu cząstek elementarnych oraz Plazmy Kwarkowo-Gluonowej. Rozdział ten zawiera również zestawienie dotychczas uzyskanych wyników dotyczących produkcji Plazmy Kwarkowo-Gluonowej, ze szczególnym uwzględnieniem wyników eksperymentów NA49 oraz NA61/SHINE.

Rozdział 2 to szczegółowy opis detektora NA61/SHINE z podkreśleniem możliwości pomiarowych i identyfikacyjnych, determinujących jakość zebranych danych i uzyskanych wyników. Uważam, że korzystne byłoby umieszczenie w tym Rozdziale tabeli zawierającej zdolności rozdzielcze w  $dE/dx$  i ToF. Wielkości te są podane w tekście, ale umieszczenie ich w jednym miejscu byłoby ułatwieniem dla czytelnika.

W Rozdziale 3 umieszczono skrótowe informacje o rekonstrukcji danych, kalibracji detektora i symulacjach Monte Carlo.

Rozdział 4 zawiera charakterystykę zebranych zbiorów danych. Dane użyte w Rozprawie zebrano przy pędach 30A, 40A, 75A, 150A GeV/c. Eksperyment NA61/SHINE rejestrował także dane dla 13A i 19A GeV/c które nie zostały wykorzystane w Rozprawie. W Rozdziale tym przedyskutowano system wyzwalania, tzw. tryger oraz charakterystykę wiązki. Ponieważ w Rozprawie dyskutowane są wyniki dla zderzeń centralnych, definicja takich zderzeń i konfiguracja trygera mają istotne znaczenie dla zrozumienia otrzymanych wyników. Dokładna analiza struktury i profilu wiązki jest niezwykle istotna, gdyż wiązka  ${}^7\text{Be}$  jest wiązką wtórną, a zawartość jonów  ${}^7\text{Be}$  w wiązce mieści się w przedziale 4-11.6%, w zależności od energii.

Rozdział 5 poświęcony jest analizie danych. Najpierw Doktorantka przedstawia akceptancję detektora dla kaonów, pionów oraz protonów i anty-protonów dla dwóch skrajnych energii wiązki. Akceptancja, przedstawiona na Rys. 5.1 jest mocno ograniczona geometrią detektorów i w zasadzie jest zredukowana do obszaru centralnego. Dalej Doktorantka prezentuje procedurę użytą do analizy danych: wybór przypadków i śladów, identyfikację cząstek i uzyskanie rozkładów fizycznych, oszacowanie i zastosowanie poprawek do widm, oszacowanie niepewności statystycznych i systematycznych. Szczegółowa dyskusja zastosowanych cięć na pozycję wiązki, skład wiązki oraz na oddziaływania więcej niż jednego jonu z wiązki nie pozostawia wątpliwości co do jakości wybranego wstępu materiału. W dalszej części Rozdziału dyskutowane są cięcia związane z wyborem wierzchołka oddziaływania oraz wyborem centralności zderzenia. Cięcia te mogą, jak zauważa autorka, mieć wpływ na uzyskiwane wyniki, dlatego też konieczna była ich dogłębna analiza. Kolejna grupa cięć, to cięcia na ślady cząstek, zarówno te standardowe, stosowane we wcześniejszych analizach eksperymentów NA49 i NA61/SHINE, jak i niestandardowe, wynikające z użycia liczników TOF. Identyfikacja

cząstek została przeprowadzona z wykorzystaniem informacji z liczników TOF oraz informacji o stratach jonizacyjnych w gazie komór TPC. Otrzymane w trakcie analizy rozkłady muszą zostać poprawione na efekty detektorowe, wydajności i wynikające ze słabych rozpadów i oddziaływań cząstek pomiędzy komorą TPC a licznikiem TOF. Mocną częścią tego Rozdziału jest dyskusja niepewności, zarówno statystycznych jak i systematycznych, zwłaszcza, że te ostatnie, ze względu na trudność ich oszacowania, są w wielu pracach pomijane i kwitowane podaniem oszacowania górnej granicy. Brakuje mi natomiast w tej części dyskusji o poprawkach na tzw. feed-down, czyli na cząstki pochodzące ze słabych rozpadów, np. hiperonów  $\Lambda$ , a zakwalifikowane jako cząstki z wierzchołka pierwotnego. Efekt ten jest szczególnie istotny dla protonów i antyprotonów przy niskich energiach zderzenia. Te poprawki zależą od modelu użytego w symulacjach Monte Carlo i mogą istotnie wpływać na uzyskany wynik. Recenzent ma świadomość, że głównym tematem pracy jest produkcja kaonów, ale w następnym Rozdziale prezentowane są również widma dla pionów i protonów, bez słowa komentarza dotyczącego feed-downu.

Wyniki analizy umieszczone są w Rozdziale 6. W pierwszym paragrafie doktorantka umieściła podwójnie różniczkowe widma naładowanych pionów, kaonów i protonów dla różnych energii SPS. Oczywiście trudno tu, głównie ze względu na dość ograniczoną akceptancję o jakieś porównania czy uogólnienia, ale kilka słów komentarza byłoby mile widziane.

Nacisk, zgodnie z tematem Rozprawy, jest położony na produkcję kaonów. W paragrafie 6.2 przedstawione są widma kaonów w pędzie poprzecznym w centrum rapidity i ich parametryzacja. Szkoda, że, autorka nie podała źródła tej ostatniej. Z wartości umieszczonych w Tabelach 6.2 i 6.3 wynika, że o ile produkcja kaonów rośnie z energią, to wartość parametru  $T$ , interpretowanego czasem jako temperatura, pozostaje niezmienną. Wydaje się również, chociaż mierzone wielkości są obciążone sporymi niepewnościami, że produkcja ujemnych kaonów, mających mniej kanałów produkcji niż kaony dodatnie, rośnie z energią bardziej niż produkcja tych ostatnich. Następne paragrafy zawierają zależności parametru  $T$  oraz stosunku kaonów do pionów od energii zderzenia. Wartości  $T$  są nieco (6-12%) wyższe niż dla protonów, aczkolwiek wyraźnie mniejsze niż dla jader ciężkich (Au, Pb). Doktorantka zauważa iż zależność  $T$  od  $\sqrt{s}$  odzwierciedla trend widoczny dla Pb+Pb ale bardzo podobną zależność widać też dla zderzeń p+p i trudno tu mówić o efektach kolektywnych. Analizując wyniki przedstawione na Rys. 6.9 można skonkludować, że wartości stosunków  $K/\pi$  dla zderzeń  ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$ , są bliższe tych dla zderzeń proton-proton niż tych dla cięższych jader, co nie powinno być zaskoczeniem, biorąc pod uwagę wielkości zderzających się obiektów. Ostatni paragraf to porównanie z modelami teoretycznymi: EPOS 1.99, UrQMD 3.4, HIJING 1.411. Porównanie nie daje jednoznacznej odpowiedzi na pytanie który z modeli lepiej opisuje dane. O ile UrQMD lepiej opisuje widma  $p_T$  w centrum rapidity, to EPOS daje lepsze wyniki dla stosunków produkowanych cząstek.

Ostatni Rozdział zawiera podsumowanie oraz plany przyszłych badań.

Rozprawę kończą dodatki zawierające definicje kinematyczne, szczegóły użytych modeli teoretycznych oraz informacje detektorowe, związane z pracą doktorantki przy komorach TPC. Recenzent z przyjemnością zauważa, że podawanie wyników w formie tabulizowanej stało się standardem.

**Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska pani mgr inż. Magdaleny Kuich zatytułowana „Kaon production in mid-rapidity in Be-Be collisions at the CERN SPS” zawiera nowe, ciekawe i ważne wyniki dotyczące produkcji mezonów K oraz studiów nad produkcją Plazmy Kwarkowo-Gluonowej. Autorka wykazała się dogłębną znajomością tematyki fizycznej oraz dużą wiedzą dotyczącą różnych aspektów fizyki detektorowej i analizy danych.**

**Krytyczne uwagi zawarte w niniejszej recenzji nie umniejszają jej wartości poznawczej i dydaktycznej.**

**Recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki ustawowe stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie pani mgr inż. Magdaleny Kuich do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Włodek