

## **R e c e n z j a**

rozprawy doktorskiej mgr Marty Urbaniak p.t.

### **„Nuclear fragmentation cross-section measurements and development of new beam detectors for future experiments”**

Recenzowana rozprawa dotyczy pomiarów przekrojów czynnych na fragmentację wybranych jąder atomowych wykonanych przez eksperyment NA61/SHINE przy kompleksie akceleratorów Super Proton Synchrotron (SPS) w CERN. Jest to eksperyment ze stałą tarczą zlokalizowany w tzw. „North Area” CERN, który koncentruje się na pomiarach dotyczących diagramu fazowego materii jądrowej oraz pomiarach na potrzeby fizyki neutrin i fizyki promieniowania kosmicznego. Niniejsza rozprawa dotyczy pomiarów na potrzeby tej ostatniej dziedziny. Wykonano pomiary dla wiązek boru, azotu i węgla przy pędzie wiązki 13.5 AGeV. W drugiej części rozprawy opisano przygotowania do przyszłych sesji pomiarowych eksperymentu, w tym przygotowania nowych detektorów pozycji wiązki. Przedstawione badania są unikatowe – wykonane po raz pierwszy dla wybranych wiązek jonów. Analiza została wykonana w całości, to znaczy nie tylko dokonano pomiaru, ale uwzględniono również wszystkie możliwe korekcje oraz wyznaczono niepewności statystyczne i systematyczne. W tym sensie rozprawa jest istotnym wkładem do realizacji programu naukowego eksperymentu NA61/SHINE i szerzej badań w tematyce promieniowania kosmicznego.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim i podzielona jest na 9 rozdziałów wraz z podsumowaniem oraz 2 załączniki („Appendix”). Pierwsze trzy rozdziały to część wprowadzająca i opisowa, w pozostałych sześciu zawarto opis analizy danych będącej istotą rozprawy i dyskusję wyników tej analizy.

Rozdział 1 zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki i plan rozprawy. Na pochwałę zasługuje umieszczenie w tym rozdziale jasnej deklaracji Autorki dotyczącej jej osobistego wkładu w analizę i inne prace wykonane na rzecz eksperymentu, dotyczące opracowania i wdrożenia nowego typu detektora. Taka informacja jest szczególnie istotna w przypadku rozpraw przygotowywanych w dużych kolaboracjach eksperymentalnych, takich jak NA61/SHINE, w których często trudno jest jasno rozgraniczyć wkład każdej osoby.

Rozdział 2 wprowadza tematykę pomiaru przekrojów czynnych na fragmentację, w szczególności tych, które są istotne z punktu widzenia propagacji promieniowania kosmicznego w Galaktyce. Wyjaśnione jest, w jaki sposób konkretnie eksperyment NA61/SHINE może posłużyć do tych pomiarów, i dlaczego właśnie wiązki dostępne w SPS dają istotnie nowy wkład do tych badań. Ciekawe i ważne jest przedstawienie rankingu pomiarów wybranych przekrojów czynnych z punktu widzenia ich wpływu na redukcję niepewności systematycznych w przewidywaniach produkcji poszczególnych izotopów. Jest to dobra podstawa do wykazania konieczności i

istotności pomiarów wykonanych w rozprawie i pozwala na skupienie się na tych z nich, które będą miały największy wpływ na rozwój dziedziny. Rozdział pokazuje, że Autorka wystarczająco przestudiowała fizyczne podstawy prowadzonej analizy oraz dotychczasowy stan wiedzy. Ich przedstawienie jest kompletne i merytorycznie poprawne, oraz wystarcza do zrozumienia dalszych części rozprawy.

Rozdział 3 opisuje narzędzie badawcze wykorzystywane w rozprawie, to znaczy eksperyment NA61/SHINE w kompleksie akceleratorów zawierających Super Proton Synchrotron (SPS) znajdujący się w laboratorium CERN. NA61/SHINE to międzynarodowa współpraca badawcza, w której skład wchodzi grupa z Uniwersytetu Śląskiego, w tym Autorka rozprawy. Rozdział rozpoczyna się od przedstawienia ogólnych celów programu badawczego eksperymentu, oraz tego, jaką pozycję zajmują w nim pomiary przekrojów czynnych na fragmentację. Następnie opisany jest układ dostarczający wiązkę do eksperymentu, ze szczególnym uwzględnieniem elementów koniecznych dla produkcji i selekcji jonów pochodzących z procesu fragmentacji. Opisany jest też sam układ detektorów, w tym istotne z punktu widzenia rozprawy detektory pozycji wiązki oraz kompleks komór projekcji czasowej i detektorów czasu przelotu. Opisano też aspekty konfiguracji eksperymentu, które były opracowane konkretnie na potrzeby sesji pomiarów przekrojów czynnych, takie jak dedykowana konfiguracja wyzwalania eksperymentu oraz wybór tarcz dla wiązki. Podano też aktualny stan wiedzy dla zależności przekrojów czynnych od energii wiązki. Zawartość rozdziału pokazuje, że Autorka jest świadoma zalet i ograniczeń narzędzia badawczego jakim się posługuje, t.j. detektora NA61/SHINE. Informacje przedstawione w rozdziale są wystarczające do zrozumienia dalszych części rozprawy.

W rozdziale 4 przedstawiona jest główna część wyników fizycznych rozprawy opisująca najważniejsze pojęcia użyte w analizie oraz omawiająca same przeprowadzenie pomiarów. Wyjaśniono szczegóły procesu fragmentacji ze zwróceniem uwagi na przekroje czynne na procesy skutkujące zmianą ładunku jądra. Pokazano też przewidywania modelowe dla tych procesów. Proces obliczania prawdopodobieństwa oddziaływania został odniesiony do konkretnych pomiarów wykonywanych w eksperymencie. Opisano, w jaki sposób mierzony jest skład izotopowy wiązki i jaką rolę w tym procesie pełnią poszczególne detektory. Szczegółowo opisano kryteria wyboru poszczególnych izotopów analizowanych w rozprawie – boru, azotu i węgla. Podano również wyniki oddziaływania wybranych wiązek z detektorami NA61/SHINE z trzema konfiguracjami tarczy – grafitowej, polietylenowej oraz konfiguracji odniesienia bez tarczy. Podsumowując rozdział ten w wyczerpujący sposób opisuje i podaje wyniki przeprowadzonych pomiarów.

W rozdziale 5 następuje analiza wyników uzyskanych w pomiarach, a w szczególności oszacowanie interesujących pomiarów czynnych. Wymagało to połączenia wyników pomiarów dla wybranych izotopów i dla różnych tarcz. Wynikiem są wartości liczbowe przekrojów czynnych na oddziaływanie zmieniające ładunek dla wiązek boru, azotu i węgla na tarczy grafitowej oraz polietylenowej. Dzięki ich połączeniu możliwe jest oszacowanie także przekroju czynnego na oddziaływanie z protonem, co jest szczególnie istotne w analizie oddziaływania promieniowania kosmicznego. Zmierzone wartości przekrojów czynnych porównano z przewidywaniami modeli GEANT4 i GLISSANDO i zaobserwowano dobrą zgodność. Rozdział ten pokazuje, że w ramach rozprawy udało się uzyskać wyniki pomiarów, które były jednym z głównych celów badań. W rozdziale 6 analiza została uzupełniona o opis procedury wyznaczania niepewności statystycznych

i systematycznych. Ich oszacowanie oznacza, że analiza eksperymentalna jest kompletna, to znaczy wyniki można ilościowo porównać z przewidywaniami modelowymi.

Rozdział 7 poświęcony jest drugiemu kluczowemu aspektowi zaangażowania Autorki w badania eksperymentu NA61/SHINE – uczestnictwa w procesie rozwoju i rozbudowy układu eksperymentalnego. W szczególności wzięła ona udział w projektowaniu, wyborze technologii i instalacji nowych detektorów pozycji wiązki. Zostały one zainstalowane w czasie tzw. Long Shutdown 2 kompleksu LHC. Opisano paskowe detektory krzemowe, który zostały wybrane do tego celu, a także ich sposób instalacji oraz podłączenia do systemów elektronicznych i mechanicznych. Wyniki uzyskane przy ich pomocy wykazują, że pozwalają one zmierzyć trajektorię wiązki, a w konsekwencji wyznaczyć punkt oddziaływania wiązki z tarczą. Dzięki tym detektorom możliwe było zaplanowanie nowej kampanii pomiarów przekrojów czynnych. Zostały one zaplanowane na czas już po złożeniu rozprawy. Rozdziały te pokazują, że Autorka miała nie tylko wkład w samą analizę danych, ale także w bezpośrednią pracę z detektorami w istniejącym i działającym systemie. Sprawia to, że rozprawa zawiera bardzo istotny składnik bezpośredniej pracy eksperymentatora przy rozwoju i obsłudze konkretnego urządzenia badawczego.

Rozdział 9 zawiera podsumowanie wyników i opis planów badawczych przekrojów czynnych w najbliższej przyszłości. W załączniku A zawarto opis analizy zanieczyszczenia wiązki niepożądanymi izotopami. Załącznik B podaje szczegóły obliczeń teoretycznych.

Rozprawa doktorska opisuje ciekawą i ważną analizę, zarówno pod względem technicznego opanowania oraz wkładu w rozwój specjalistycznej konfiguracji detektora NA61/SHINE, jak i merytorycznie poprawnej analizy danych dotyczących pomiarów przekrojów czynnych na procesy fragmentacji zmieniające ładunek jądra. Przeprowadzona analiza jest kompletna, to znaczy zawiera pełny opis metodologii badań, zarówno eksperymentalnej jak i dotyczącej obróbki danych oraz interpretacji teoretycznej. Wyniki są przedstawione wraz z dokładnie zbadaną niepewnością statystyczną i systematyczną. Uzyskane wyniki są unikatowa na skalę światową, to znaczy nie były uzyskane nigdy wcześniej i byłyby trudne do uzyskania w jakimkolwiek innym eksperymencie. Ich znaczenie wykracza też poza dziedzinę fizyki zderzeń ciężkich jonów i ma bezpośrednie znaczenie w astrofizyce i fizyce promieniowania kosmicznego.

Praca jest przygotowana poprawnie od strony edytorskiej. Rysunki są duże i czytelne oraz jasno opisane. W tekście rozprawy znajdują się pewne drobne niedociągnięcia, które pokrótce wymienię.

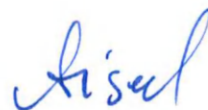
- Na osi y rysunku 3.8 znajduje się wielkość „Time of flight difference”. Nie jest jednak wyjaśnione względem czego jest to różnica, i jakie wielkości są tutaj spodziewane.
- W rozdziale 3.2.6 opisane są dotychczasowe analizy przekrojów czynnych na produkcję izotopów węgla i boru. Czy te wyniki zostały uzyskane w ramach tej rozprawy? Jeżeli nie, to w jaki sposób i kiedy zostały uzyskane? W szczególności czy wyniki przedstawione w pracy [28] zostały uzyskane w ramach tej rozprawy?
- Dodatkowo, w bibliografii referencja [28] jest niepoprawna, podobnie jak referencje [18] oraz prawdopodobnie [52] i [55].
- Równania (4.11) i (4.12) mają definiować dwie różne wielkości, a są one identyczne. Jaka jest między nimi różnica?
- W dziale 4.0.4 pojawia się pojęcie „electron material ionization”. Do jakiego procesu konkretnie odnosi się to stwierdzenie?

- Jaki jest powód i jakie jest znaczenie faktu, że wartości szerokości sygnału w tabeli 4.1 są różne dla „prawej” i „lewej” strony wykresu?
- Na stronie 31 dyskutowany jest fakt, że dla boru i azotu nie dokonano separacji izotopów, a zamiast tego mierzony jest jeden przekrój czynny. Użyto tutaj sformułowania „suma” dla izotopów. Nie jest jednak jasne do czego słowo „suma” się odnosi, i czy to na pewno jest właściwe sformułowanie. W szczególności czy jest to „suma przekrojów czynnych”, czy też może przekrój czynny wypadkowy w rozumieniu średniej ważonej. A jeżeli tak, to co jest „wagą” w tej średniej?
- Na stronie 40 znajduje zamiast odniesienia do rys. 4.22 znajduje się podwójne odniesienie do rys. 4.21.
- Na stronie 41 dyskutowany jest rys 4.25, z użyciem pojęcia „derivation”, co po polsku oznacza operację matematyczną różniczkowania lub wyprowadzenie twierdzenia matematycznego. Nie jest więc jasne czego dotyczy dyskusja, chyba że właściwym słowem powinno tu być „deviation”, czyli odchylenie – w szczególności w polu magnetycznym.
- Na stronie 53 w opisie kryteriów wyboru „downstream” pojawia się kryterium minimalnej liczby klastrów przypisanych do toru. Czy zbadany został wpływ tego kryterium na wydajność rekonstrukcji cząstek? Jak taka wydajność wpływa na niepewność systematyczną pomiaru przekroju czynnego? Czy zastosowano poprawki na tę efektywność?
- Na rysunkach 5.2, 5.3 i 5.4 przedstawiona jest zależność przekrojów czynnych od liczby atomowej jonu A. Czy znana jest postulowana postać funkcyjna zależności tego przekroju od A? Jeżeli tak, to czy można taką zależność dopasować do danych i w efekcie oszacować te przekroje czynne z lepszą niepewnością statystyczną? Jest to związane z dyskusją pod koniec str. 59 na temat faktu, że dane dla przekroju czynnego na rys. 5.4 mają wysoką wartość dla boru. Dalej pada stwierdzenie, z którego wynika, że zakładamy, że jest to wartość, która musi zostać „skorygowana” przez analizę na większej próbce danych. Ale skąd pewność, że wartość ta musi zostać „skorygowana”? Oznacza to, że zakładamy, że jest błędna. Na jakiej podstawie? Czy właśnie na podstawie spodziewanej zależności przekroju czynnego od A? Ale jeżeli tak, to dlaczego nie użyjemy tej zależności do znalezienia lepszej wartości tego przekroju czynnego poprzez dopasowanie do wszystkich dostępnych danych?
- Rysunek 7.1 zawiera schemat NA61/SHINE po procesie ulepszenia układu detekcyjnego, ale nie ma na mi pokazanych detektorów BPD, które są głównym tematem tego rozdziału.
- Na czym polega proces „saturacji” detektora krzemowego pokazany na rys. 7.5? Kiedy występuje? Czy jest to problem w procesie zbierania danych? Jeśli tak, to jak jest on rozwiązywany?

W całym tekście rozprawy występują też drobne błędy językowe. Wymienione powyżej uwagi nie zmieniają jednak jednoznacznie pozytywnej oceny przedstawionej rozprawy.

Rozprawa przedstawia unikatowe, nietrywialne, interesujące i ważne wyniki pomiarów przekrojów czynnych na fragmentację jonów ze zmianą ładunku oraz opis prac Autorki przy rozwoju układu detekcyjnego NA61/SHINE. Istotne jest również, że cała działalność Autorki odbywała się w ramach dużej, prestiżowej międzynarodowej kolaboracji eksperymentalnej

działającej w wiodącym światowym laboratorium naukowym CERN. Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa mgr Marty Urbaniak spełnia niezbędne wymagania stawiane przed rozprawami doktorskimi i wnoszę o dopuszczenie Autorki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



prof. dr hab. inż. Adam Kisiel