

**Recenzja pracy doktorskiej Pana mgr Sebastiana Kupnego pt.
„Digital Pulse Shape Analysis with Neural Networks:
Application to Flow Measurements in the ASY-EOS
Experiment”**

Fizyka zderzeń ciężkich jonów przy pośrednich i wysokich energiach jest dziedziną nauki silnie rozwijającą się na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat. W szczególności zagadnienia związane z badaniem równania stanu materii jądrowej (NEOS) są od kilkunastu lat elementem szczegółowych badań tak eksperymentalnych jak i teoretycznych. Jednym z zagadnień, jakie są realizowane w ramach tej tematyki dotyczą określania współczynników równania stanu dla niesymetrycznej (izospinowo) materii jądrowej. W tym przypadku wiele wysiłku eksperymentalnego jest skupione na wyznaczeniu wartości energii symetrii, oraz jej zależności od gęstości materii. Badania te znajdują zastosowanie nie tylko w dziedzinie fizyki jądrowej, ale także są bardzo ważne np. z punktu widzenia astrofizyki gdzie wyznaczone w eksperymentach fizyki jądrowej równanie stanu (jego współczynniki) pozwalają na modelowanie procesów zachodzących w gwiazdach. Aby, z punktu widzenia eksperymentalnego, wyciągać wnioski dotyczące NEOS bardzo ważne jest posiadanie wiarygodnych danych eksperymentalnych o wysokiej precyzji (obciążonych małym błędem statystycznym i systematycznym), wymaga to rozwoju odpowiednich metod analizy danych eksperymentalnych. Ponadto rozwój elektroniki pozwala na pomiar kształtu impulsu generowanego przez układ detekcyjny, a nie tylko jego pojedynczych parametrów jak na przykład maksymalna wartość impulsu, czy całkowity ładunek.

Przedstawiona do recenzji praca jest tematycznie związana z wyżej wymienionymi zagadnieniami. Głównym celem pracy było opracowanie metod cyfrowej analizy kształtu impulsu z wykorzystaniem sieci neuronowych do identyfikacji i redukcji tła.

Rozprawa doktorska Pana mgr Sebastiana Kupnego składa się z czternastu rozdziałów wliczając wstęp i podsumowanie.

We wstępie do pracy autor zawarł podstawowe informacje dotyczące pracy, znajdziemy tu krótko opisaną zawartość pracy, ogólne informacje dotyczące układu detekcyjnego i rozważanych reakcji. Rozdział drugi zawiera opis oraz obecny stan wiedzy dotyczący równania stanu dla symetrycznej jak i niesymetrycznej materii jądrowej. Dużą część tego rozdziału autor poświęca na opis zależności energii symetrii od gęstości materii. Kolejny (trzeci) rozdział także można zaliczyć do części opisowej pracy znajdziemy tu prezentację wielkości fizycznych (obserwabli) czułych na wartość współczynnika energii symetrii wprowadzonego do równania stanu dla gęstości większych od tzw. gęstości saturacji. Rozdział czwarty rozpoczyna eksperymentalną część pracy zawarty jest w nim omówienie eksperymentu ASY-EOS. Znajduje się tu opis wszystkich składowych układu pomiarowego eksperymentu ASY-EOS. Jednym z układów pomiarowych eksperymentu ASY-EOS jest detektor KRATTA (KRAków Triple Telescope Array). Właśnie dane zabrane przez ten detektor stanowią główną część analizy zamieszczonej w dysertacji. Detektor ten jest szczegółowo przedstawiony w rozdziale piątym. Znajduje się to objaśnienie konstrukcji całego detektora oraz pojedynczego teleskopu. Na podkreślenie zasługuje fakt, że detektor ten wykorzystuje nowatorską technikę, w której zainstalowana fotodioda półprzewodząca jest równocześnie detektorem start energii i detektorem światła generowanego w scyntylatorze CsI(Tl) umieszczonego bezpośrednio przy fotodiodzie. Rozdział 6 poświęcony jest metodzie opracowywania i przetwarzania danych eksperymentalnych zebranych przez detektor KRATTA. W mojej opinii bardzo interesujący jest podrozdział opisujący parametryzację i dekompozycję impulsu pochodzącego z pojedynczego teleskopu detektora KRATTA. Zawarta została tu także prezentacja otrzymanych składowych impulsu na mapach ΔE -E pozwalających na identyfikację produktów reakcji. Koniec rozdziału piątego poświęcony został kalibracji energetycznej poszczególnych teleskopów. W rozdziale 7 znajdujemy w mojej opinii właściwą część pracy, czyli analizę kształtu impulsu z wykorzystaniem sieci neutronowych do redukcji tła, której celem jest precyzyjne określenie krotności, produkowanych lekkich jader (H , ^2H , ^3H , ^3He i ^4He). Analiza opisana w kolejnym rozdziale (ósmym) dotyczy określenia wpływu wtórnego oddziaływania lekkich jader, powstałych z reakcji $Au+Au$, z materiałem detektora. Autor wykazuje, że wpływ wtórnego oddziaływania nie może być zaniedbany, zamieszcza jego oszacowanie wykonane z wykorzystaniem symulacji

Dr hab. Seweryn Kowalski
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski w Katowicach

Monte Carlo oraz biblioteki Geant4. Znajduje się tutaj także dyskusja wartości prawdopodobieństwa wtórego oddziaływania w zależności od energii pierwotnego jądra. W kolejnym rozdziale znajdujemy charakterystykę zdarzenia rejestrowanego podczas reakcji Au+Au dla 400 MeV/A. Autor opisuje wybrany estymator parametru zderzania oraz sposób określenia tzw. płaszczyzny reakcji. Obie te wielkości są niezbędnym elementem w późniejszej analizie pływów, która zamieszczona jest w rozdziałach 11, 12 i 13. Ponadto w rozdziale 10 obliczona została poprawka, zastosowana do danych eksperymentalnych, określająca udział zdarzeń, w których reakcja jądra pocisku nastąpiła poza tarczą. Jak wspominałem wcześniej rozdziały 11, 12 i 13 dotyczą rezultatów i analizy fizycznej danych zebranych przez detektor KRATTA w reakcji Au+Au dla 400 MeV/A. Zaprezentowane są tutaj rozkłady energetyczne i stosunki izotopowe dla lekkich jąder. Autor porównuje także otrzymane wyniki wartości pływu z eksperymentem FOPI (o podobnej akceptacji). Bardzo dobra zgodność obu eksperymentów potwierdza poprawnie przeprowadzona analizę. Na podstawie porównania analizowanych danych eksperymentalnych z modelem UrQMD autor określa wartości współczynnika $\gamma=0,75\pm0,1$. Dzięki temu możliwe jest wprowadzenie ograniczania na wartości energii symetrii.

W mojej opinii bardzo wartościowym elementem, jaki znajdziemy w przedstawionej pracy, jest analiza tła z zastosowaniem sieci neuronowych. Szczególnie istotne wydaje się to, że takie podejście pozwala na zastosowanie poprawki dla każdego pojedynczego zdarzenia. Wykorzystanie sieci neuronowych świadczy także o bardzo dobrym przygotowaniu autora dysertacji nie tylko w dziedzinie fizyki jądrowej, ale i informatyki. Szkoda, że rozdział poświęcony tej tematyce jest krótki, mimo, że właśnie ten element jest jednym z głównych celów pracy, na co wskazuje także jej tytuł. Kolejnym ważnym elementem, jaki znajdziemy w pracy jest w określenie wartości współczynnika γ oraz ograniczenia na wartości energii symetrii w zależności od gęstości materii. Ponadto z pracy wyłania się obraz bardzo szczegółowo i precyzyjnie przeprowadzonej analizy danych – przeprowadzona analiza kształtu impulsu, uwzględnia poprawki dla oddziaływań poza tarczą i oddziaływań wtórnych z materiałem detektora świadczy to szczególnej dbałości o elementy, które mogą mieć wpływ na otrzymane wyniki. Potwierdzeniem precyzyjnie wykonanej analizy jest porównanie otrzymanych wartości pływów z eksperymentem FOPI - bardzo dobra zgodność.

Dr hab. Seweryn Kowalski
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski w Katowicach

Głównym problemem, jaki pojawił się podczas czytania pracy jest bardzo trudny do określania osobisty udział autora w przedstawionej analizie danych. Obecnie eksperymenty badające reakcje jądrowe przeprowadzane są w dużych kolaboracjach (tutaj także ma to miejsce) i właśnie w dysertacji doktorskiej szczególnie powinien być zaznaczony wkład autora pracy. W wielu miejscach omawiane analizy/wyniki odnoszą się do publikacji lub prezentacji, które są, w mojej opinii, pracą całej kolaboracji, przemawia za tym także fakt, że autor nie jest pierwszy na liście lub nie jest autorem wygłaszanej prezentacji (dla przykładu strona 64 – rysunek 9,1, strona 84 rysunek 13,1, 13,2). Jednocześnie forma, w jakiej napisana jest dysertacja bardziej pasuje do publikacji naukowej firmowanej przez kolaborację, a nie rozprawy doktorskiej. Zastosowanie takiej formy utrudnia pracę recenzenta gdyż niezbędna jest szczegółowa analiza osobistego wkładu autora. Bardzo przydatne z punktu widzenia recenzji byłoby umieszczenie w podsumowaniu lub we wstępie do pracy opisu wkładu osobistego autora. Ponadto w wielu miejscach w mojej opinii praca jest bardzo „ascetyczna” rozumiem, że np. zamieszczenie rozkładów energetycznych dla wszystkich zmierzonych kątów czy też krotności lekkich cząstek zwiększyłoby objętość pracy, lecz z drugiej strony takie elementy są ważne właśnie w pracy doktorskiej gdzie autor może sobie pozwolić na bardziej szczegółowe omówienie tematu.

Mam następujące uwagi/zapytania do sposobu przeprowadzonych przez doktoranta analiz bądź interpretacji uzyskanych wyników:

- Na stronie 29 znajdują się wartości sztucznie wygenerowanych, z procedury dekompozycji kształtu, procentowych udziałów scyntylacji i jonizacji w całkowitym impulsie. Nie znalazłem jednak, w jaki sposób określony był błąd tych wartości. Prezentowany jest tylko przykład jednego kształtu impulsu, wątpię, aby wielkości te były (tak błąd jak i sama wartość) określone na podstawie jednego przypadku.
- Dlaczego rysunek 7.7 prezentujący działanie sieci neuronowej jest wykonany dla bardzo małej statystyki danych wejściowych. Szczególnie, że w obszarze gdzie aktywowany został neuron tła wydawać się może, że zwiększenie statystyki uwidoczni separacje izotopów.

- Nie bardzo rozumiem, jaki sens ma wprowadzenie definicji stosunku całkowitego sygnału do szumu w postaci $STR=S/(S+B)$ i podawanie tej wartości w procentach. Bardzo trudno jest powiązać współczynniki redukcji tła (zamieszone na stronie 51) ze zmianą wielkości STR.
- W rozdziale 9 znajdujemy informacje dotyczące wyboru estymatora parametru zderzania. Zostało to wykonane z użyciem symulacji modelem UrQMD nie znajduje jednak w opisie, w jaki sposób parametr zderzenia jest określany w tym kodzie. Ponadto nie jest dla mnie jasne, z czego wynika wartość 10 we wzorze 9.2?
- Na stronie 69 autor stwierdza, że otrzymana poprawka na oddziaływania poza tarczą została zastosowana do rozkładów zmierzonych lekkich jąder dla detektora KRATTA. W mojej opinii wartościowym wydaje się zaprezentowanie działania tej poprawki, tak jak to było zrealizowane dla poprawki na wtórne oddziaływania (rysunek 8.5)
- Czy zakres parametru zderzenia w tabeli 9.1 (0,25; 0,45) jest prawidłowy?
- W rozdziale 12 autor przedstawia porównanie danych z modelem UrQMD. Obliczenia modelowe zatrzymywane są dla czasu 150 fm/c, a następnie wykonywana jest klasteryzacja. Na rysunku 12.1 znajdujemy porównanie krotności dla poszczególnych Z zmierzonych fragmentów. Czy w procesie symulacji uwzględniane było wtóre wyparowanie wzbudzonych klastrów?
- Na rysunku 13.1 zamieszczony jest stosunek pływu eliptycznego neutronów i cząstek naładowanych dla danych eksperymentalnych i modelowych na podstawie, którego wyciągany jest wniosek o wartości współczynnika γ . Nie jest dla mnie jasne, w jaki sposób określony był pływ eliptyczny dla neutronów, jeżeli detektor KRATTA służy do pomiaru cząstek naładowanych, a analiza danych z tego detektora jest głównym elementem pracy. W mojej opinii wykorzystane tu zastały dane z detektora LAND, którego akceptacja pokrywa się z detektorem KRATTA. Rodzi to pytanie czy dane z dla neutronów były analizowane przez autora rozprawy, jeżeli tak to, dlaczego nie zostały umieszczone, jako element tej rozprawy?
- Bardzo ważnym i zarazem bardzo ciekawym elementem pracy jest redukcja tła z wykorzystaniem sieci neuronowych wydaje się, więc, że wartym rozważenia byłoby

Dr hab. Seweryn Kowalski
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski w Katowicach

oszacowanie wpływ redukcji, co najmniej np. na stosunki izotopowe mierzonych fragmentów.

Rozprawa doktorska Pana mgr Sebastiana Kupego jest napisana w języku angielskim, w sposób prosty i zrozumiały, a jej czytanie sprawiło mi dużą przyjemność. Nie mam uwag do strony językowej pracy, ale jednocześnie nie czuję się w pełni kompetentny do oceny pracy pod tym względem.

Podsumowując przedstawiona do recenzji praca porusza ważne tematy z punktu widzenia fizyki zderzeń ciężkich jonów. Jak wspomniałem na początku recenzji tematyka ta bardzo dobrze wpisuje się w obecny trend eksperymentalny i teoretyczny fizyki reakcji jądrowych.

Zastosowanie samoorganizujących się sieci neuronowych do redukcji tła wydaje się być bardzo obiecującą metodą, w szczególności, że pozwala ona na wprowadzenie poprawki do każdego pojedynczego zdarzenia. Zaproponowana metoda rzuca nowe światło na pracę z danymi eksperymentalnymi i według mnie, zgodnie z sugestiami autora winna być rozwijana. Przygotowana i przeprowadzana analiza dekompozycji sygnału pochodzących z poszczególnych teleskopów detektora KRATTA jest bardzo ważna z punktu widzenia planowania i budowy nowych układów detekcyjnych. W mojej opinii może służyć za przykład precyzyjnie i poprawnie wykonanej analizy.

Autor wykazał, że w dobrym stopniu opanował zaawansowane metody analizy danych. Przedstawiona do recenzji praca świadczy także o orientacji autora w zakresie teoretycznego opisu dynamiki reakcji ciężkojonowych w szczególności zagadnień dotyczących energii symetrii.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr Sebastiana Kupnego „Digital Pulse Shape Analysis with Neural Networks: Application to Flow Measurements in the ASY-EOS Experiment” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Seweryn Kowalski

Dr hab. Seweryn Kowalski