



Dr hab. Adam Kozela
tel. 12 6628290
NZ24 IFJ PAN

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

Rozprawa doktorska magistra Sebastiana Kupnego została złożona na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w kwietniu 2016 roku. Jest napisana w języku angielskim, składa się z czternastu rozdziałów, jednego appendiksu, liczy 107 stron. Praca dotyczy wykorzystania metody cyfrowej analizy danych, określanej mianem sieci neuronowej, do redukcji tła oraz identyfikacji cząstek w eksperymencie ASY-EOS, badającym udział energii symetrii w równaniu stanu materii jądrowej.

Rozdział pierwszy w sposób skrótowy przedstawia podjęte w pracy problemy oraz jej strukturę. Następujące po nim dwa rozdziały zawierają wprowadzenie w nadrzędne dla pracy zagadnienie jądrowego równania stanu. W sposób bardzo zwięzły, ale biorąc pod uwagę bogatą bazę cytowań wystarczający, ukazują one wagę problemu dla różnych obszarów fizyki jądrowej oraz astrofizyki. Czytelnik poznaje strukturę jądrowego równania stanu, dowiaduje się czym jest energia symetrii, jakie obserwable są na nią czułe, w jakich eksperymentach jest mierzona, oraz przede wszystkim, poznaje skalę naszej niewiedzy w zakresie przebiegu tego równania w warunkach dużych gęstości jądrowych. Niewiedza ta stanowi potężną motywację dla wielu eksperymentów, w tym dla analizowanych w pracy pomiarów wykonanych w ramach eksperymentu ASY-EOS, z użyciem detektorów LAND, CHIMERA, μ -Ball oraz KRATTA, przeprowadzonym w GSI, Darmstadt.

Zwięzły opis tych detektorów zajmuje dwa kolejne rozdziały, przy czym detektorowi KRATTA, zaprojektowanemu i wykonanemu przez krakowskich fizyków z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN, poświęcono więcej miejsca w osobnym rozdziale. W rozdziale tym czytelnik poznaje dość skomplikowaną budowę tego detektora, oraz zastosowaną w nim nowatorską metodę odczytu sygnału ze scyntylatora jodku-cezu aktywowanego talem. Technika ta nawiązuje do szeroko stosowanych do identyfikacji cząstek detektorów typu

„phoswich”, w których dwa połączone optycznie scyntylatory o różnych czasach wyświecania, odczytuje się przy pomocy jednego fotopowielacza. W detektorze KRATTA każdy z 70 scyntylatorów odczytywany jest za pomocą czułego na światło detektora krzemowego – fotodiody. W konsekwencji, zamiast dwóch konwersji odpowiadających długiemu i krótkiemu czasowi całkowania impulsu, jak w detektorach typu phoswich, informacja o energii straconej przez cząstkę zakodowana jest w kształcie impulsu, będącym sumą impulsu od dryfu jonizacji pierwotnej w krzemie oraz odpowiedzi fotodiody na światło scyntylacyjne. Prowadzi to do konieczności zapisu, a następnie analizy kształtu zapisanych impulsów, w celu zidentyfikowania konkretnej cząstki na podstawie jej specyficznej zdolności jonizacyjnej. Biorąc pod uwagę, że w omawianym eksperymencie jedna cząstka mogła deponować swoją energię w aż pięciu aktywnych elementach, nawet stosując prostą parametryzację poszczególnych składowych, dekompozycja i interpretacja uzyskanych danych okazuje się zadaniem nietrywialnym. Zagadnieniom tym poświęcony jest rozdział szósty. Na przykładowych widmach, Autor prezentuje w nim zaiste olbrzymie możliwości detektora KRATTA w zakresie detekcji oraz identyfikacji lekkich fragmentów, produkowanych w zderzeniach ciężkich jonów. Przedstawiono tu także różne sposoby reprezentowania kształtu impulsu, poczynając od prostego próbkowania, poprzez wyliczane momenty sygnału, aż do pełnego zestawu parametrów, uzyskanych z dekompozycji sygnału na jego części składowe.

Niezależnie od reprezentacji informacja stowarzyszona z przejściem konkretnej cząstki zawarta jest w wielowymiarowym wektorze parametrów mierzonych wprost, bądź wyliczanych na podstawie pomiarów. Parametry te są oczywiście obarczone błędami pomiarowymi, a sytuację dodatkowo komplikują procesy tła zaburzające pomiar, takie jak na przykład koincydencje przypadkowe, reakcje badanej cząstki z materiałem detektora, czy jej ucieczka poza jego granice. Powoduje to, że interpretacja wektora parametrów pod kątem identyfikacji cząstki jest żmudna, a często niejednoznaczna. Właśnie do tego typu problemów, stosuje się z dużym powodzeniem statystyczne metody adaptacyjne, których ciekawym przykładem jest metoda sieci neuronowej. W rozdziale siódmym, po krótkim wprowadzeniu dydaktycznym, Autor opisuje zastosowanie odmiany tej metody, określanej jako samoorganizująca się mapa (ang. Self Organizing Map), do identyfikacji cząstek i redukcji, wspomnianego wcześniej tła. Jest to najważniejszy rozdział pracy, w którym Autor w sposób szczegółowy definiuje zastosowany algorytm, oraz prezentuje wyniki jego działania dla danych obejmujących emisję lekkich cząstek, podzielonych na dwa podzbiory wyselekcjonowane na podstawie widm E-dE. Pierwszy z nich, zawierający izotopy helu, został potraktowany bardziej szczegółowo (co nie dziwi, gdyż w jego przypadku wyniki okazały się dużo lepsze). Zastosowanie sieci neuronowej pozwoliło zredukować udział tła nawet o 85%, w obszarze izotopu helu-3. Sprawdzono działanie sieci dla wszystkich, wspomnianych wcześniej, reprezentacji kształtu impulsu. Wynik dla drugiego podzbioru, obejmującego izotopy wodoru, okazał się gorszy, co Autor przypisuje większej ilości tła oraz większemu zróżnicowaniu jego pochodzenia. Działanie algorytmu sprawdzono w tym przypadku tylko dla dwóch wybranych reprezentacji sygnałów.

W rozdziale ósmym zaprezentowano wyliczenie czynników korekcyjnych uwzględniających obniżenie wydajności detektora KRATTA spowodowane oddziaływaniem produktów reakcji z materiałem detektora. Wyliczenia dokonano z zastosowaniem pakietu symulacyjnego Geant4, a wyniki sperametryzowano w funkcji energii pocisku wielomianem drugiego stopnia, osobno dla izotopów wodoru i helu. Algorytm przedstawiający sposób na uwzględnienie zdarzeń nie pochodzących z tarczy zaprezentowano w rozdziale dziesiątym.

Rozdział dziewiąty pokazuje sposób w jaki, przy użyciu informacji z detektorów CHIMERA i ATOF, określano tak istotne charakterystyki reakcji jak parametr zderzenia i orientacja płaszczyzny reakcji.

Końcowe wyniki analizy danych z detektora KRATTA, w postaci rozkładów energetycznych zarejestrowanych izotopów helu i wodoru, dla dwóch wybranych kątów polarnych, oraz rozkłady ilości protonów dla różnych obszarów rapidity w funkcji kąta polarnego, zostały przedstawione w rozdziale jedenastym. Znalezione z tych rozkładów parametry plywu kierunkowego i eliptycznego dla wszystkich badanych izotopów, porównano z wcześniejszymi rezultatami eksperymentu FOPI uzyskując doskonałą zgodność oraz wskazanie na miękką charakterystykę równania stanu symetrycznej materii jądrowej.

W rozdziale dwunastym uzyskane rezultaty zostały porównane z wynikami modelu URQMD (ultrarelatywistycznej dynamiki molekularnej). Choć w tym przypadku zgodność pomiędzy wynikami eksperymentu i obliczeń modelowych jest całkiem niezła, Autor wskazał na obserwable, jak stosunek liczby wyprodukowanych jąder helu-3 do trytu, wykazujące stosunkowo duże rozbieżności, a przez to czule na pewne aspekty modelu.

Praca napisana jest zrozumiałym i, w moim odczuciu, bardzo dobrym językiem angielskim, w którym nie znalazłem ewidentnych błędów. Podobną dbałością charakteryzuje się strona graficzna: rysunki są czytelne i dobrze ilustrują zawarte w tekście twierdzenia. Trochę drażni duża liczba rozdziałów; niektóre z pewnością można było połączyć. Po przeczytaniu rozdziału o samoorganizujących się mapach odczułem pewien niedosyt informacji – Autor pisze wprawdzie o większej ilości prób i testów, które wykonywał, ale nie znajdujemy pełniejszej dokumentacji tego w tekście. Chętnie zobaczyłbym jakąś próbę graficznej ilustracji procesu klasteryzacji, który powinien zachodzić w sieci neuronowej. Nie rozumiem też dlaczego wektor danych wejściowych pomija informację z fotodiody P0, Wydaje się, że ta informacja powinna być bardzo istotna dla dobrej identyfikacji cząstki. Ogólnie jednak odbiór pracy jest bardzo pozytywny, a zaprezentowana przez magistra Sebastiana Kupnego analiza danych z wykorzystaniem sieci neuronowej, zakończyła się pełnym sukcesem, znacząco wpływając na jakość wyników osiągniętych w eksperymencie ASY_EOS z zastosowaniem detektora KRATTA. Potencjalna użyteczność metody wynika z faktu, że pozwala ona na znaczną oszczędność czasu obliczeń koniecznych do analizy danych, a poprzez zmniejszenie liczby zapisywanych przez system akwizycji parametrów, stwarza nadzieję na istotną poprawę przepustowości tego systemu. Środowisko fizyków, zajmujących się analizą danych z eksperymentów narażonych na znaczący udział tła, z pewnością znajdzie w pracy wartościowe źródło informacji. To wszystko skłania mnie do pozytywnej oceny pracy oraz do podjęcia decyzji o wnioskowaniu o dopuszczeniu Sebastiana Kupnego do dalszej części przewodu doktorskiego.

Kraków, 01.06.2016


Adam Kozela

1. The first part of the paper is devoted to the study of the properties of the function $f(x)$ defined by the equation