

Kraków, 11.03.2018

Prof. dr hab. Jerzy W. Mietelski
Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN
Kraków
Radzikowskiego 152

Recenzja pracy doktorskiej mgr. Krzysztofa Panasa pt. „Development of Pulse Shape Discrimination Methods as Tool for Background Suppression in High Purity Germanium Detectors used in GERDA Experiment”

Przedstawiona do oceny praca doktorska mgr. Krzysztofa Panasa poświęcona jest opracowaniu nowatorskiej metody redukcji tła detektorów germanowych poprzez analizę kształtu sygnału powstającego w detektorze w czasie rejestracji fotonu promieniowania gamma lub w czasie innego procesu jądrowego. Praca powstała pod kierunkiem prof. dr. hab. Marcina Wójcika przy współudziale promotora pomocniczego dr. (obecnie już dr. hab.) Grzegorza Zuzela.

Podwójny bezneutrinowy rozpad beta to postulowany i ciągle nieodkryty rodzaj rozpadu radioaktywnego, w którym z jądra atomowego emitowane są jednocześnie dwa mono energetyczne elektrony (a więc dwie cząstki beta) a nie jest emitowane żadne neutrino. Proces taki jest zabroniony w Modelu Standardowym i stanowi jeden z intensywnie poszukiwanych wyłomów tego modelu. Nauce znane jest kilkanaście jąder atomowych w których zachodzą podwójne rozpady beta z jednoczesną emisją dwóch neutrin, co jest procesem nisko prawdopodobnym, przez co rzadkim ale dopuszczalnym w Modelu Standardowym. Wśród tych jąder jest jądro ^{76}Ge . Jest ono szczególnie interesujące, gdyż otwiera możliwość wykonania detektora półprzewodnikowego ze wzbogaconego w ten izotop germanu, będącego jednocześnie badaną próbką. W przewidywaniach rozpad bezneutrinowy powinien zachodzić dla tych samych jąder, co rozpady z emisją dwóch neutrin.

Szansa wykrycia rzadkich rozpadów radioaktywnych zależy w sposób decydujący od tła stosowanej aparatury. Tło detektora germanowego, wykorzystywanego w spektrometrii promieniowania gamma, redukowane jest na wiele sposobów. Podstawowy rodzaj to osłonięcie detektora osłoną bierną, najczęściej ołowianą (lub wykonaną z innego materiału o dużym Z). Stopień osłabienia tła jest prostą funkcją grubości zastosowanej osłony. W praktyce stosuje się osłony o grubościach od 5 cm do 15 cm. Osłony grubsze niż 15 cm są niepraktyczne: osłona zawsze jest źródłem wtórnego promieniowania, gdyż stanowi maszyną tarczę dla promieniowania kosmicznego. A więc grubościach ołowiu większych od 15 cm korzystny wpływ redukcji tła promieniowania gamma jest kompensowany wzrostem wtórnych efektów. Ponadto wewnątrz osłony umieszcza się filtry wykonane z różnych materiałów (o malejącym w stronę detektora Z) celem zmniejszania udziału indukowanej fluorescencji rentgenowskiej. Przy grubej osłonie eliminującej wpływ zewnętrznego pola promieniowania decydujące znaczenie dla tła ma czystość radiochemiczna elementów konstrukcyjnych detektora, wewnętrznych części osłony i kriostatu. Stosuje się dobierane specjalnie materiały. Dalszą redukcję tła uzyskuje się poprzez umieszczenie spektrometru głęboko pod powierzchnią Ziemi, co zmniejsza udział wpływu promieniowania kosmicznego (głównie mionów). Redukcję tła można uzyskać też poprzez zastosowanie osłon czynnych, czyli otaczających detektor germanowy innych detektorów pracujących w trybie antykoincydencji. W układach bardzo niskotłowych, dedykowanych do wykrywania bardzo rzadkich rozpadów stosuje się wszystkie

wymienione tu rozwiązania: zarówno otacza się detektor układem osłon jaki i umieszcza się detektor pod powierzchnią ziemi, jak oraz otacza się go układem antykoincydencyjnym. W przypadku poszukiwań tak rzadkiego i wciąż nieodkrytego procesu jak podwójny bezneutrinowy rozpad beta konieczne jest poszukiwanie dalszych metod redukcji tła. Zaproponowane w pracy rozwiązanie służy dalszej redukcji tła. Jest to bardzo nowatorska i oryginalna idea polegająca na eliminowaniu spośród wszystkich sygnałów wytwarzanych w detektorze sygnałów niepożądanych, a więc niejako należących do szeroko rozumianego tła spektrometru. Odbywa się to na podstawie analizy kształtu sygnału.

Obecnie realizowany eksperyment GERDA II wykorzystuje układ wielu detektorów germanowych wykonanych ze wzbogaconych izotopowo w ^{76}Ge kryształów, pozbawionych kriostatów i bezpośrednio umieszczonych w ciekłym argonie, stanowiącym jednocześnie antykoincydencyjny scyntylacyjny detektor otaczający cały układ. Całość detektora umieszczona jest pod ziemią w odpowiedniej osłonie biernej. Zawiera więc wszystkie możliwe bierna i czynne metody redukcji tła znane obecnie. Zaproponowane rozwiązanie jest krokiem w stronę dalszego poprawienia możliwości detekcji poszukiwanego procesu.

Praca napisana jest w dobrym języku angielskim, ma bardzo staranną szatę graficzną, przejrzysty układ. Zorganizowana jest w cztery zasadnicze rozdziały zawierające kolejno:

- charakterystykę problemu bezneutrinowego podwójnego rozpadu beta wraz z opisem światowych eksperymentów w tym zakresie i ich wyników,
- opis procesów powstawania sygnałów w detektorze germanowym,
- opis rozwoju zaproponowanej metody analizy kształtu impulsu,
- opis implementacji tej metody w eksperymencie GERDA II.

Całość uzupełnia piąty rozdział zawierający podsumowanie, dwa aneksy, oraz spisy literatury i wykorzystanych w pracy skrótów.

Autor swobodnie porusza się w złożonej tematyce dysertacji obejmującej z jednej strony zagadnienie podwójnego bezneutrinowego rozpadu beta, z drugiej strony spektrometrię promieniowania gamma, ponadto algorytmy samouczące się wykorzystujące sieci neuronowe, zaawansowane metody analizy statystycznej oraz zagadnienia czysto elektroniczne. Przedstawiony w pierwszym rozdziale zarys problemów i osiągnięć związanych z aktualnym stanem prac nad poszukiwaniem podwójnego bezneutrinowego rozpadu beta stanowi interesujący przegląd o dużym potencjale dydaktycznym. Dotychczasowe wyniki poszukiwań eksperymentalnych takich procesów przesuwają już oceny dolnej granicy czasu połowicznego rozpadu dla nich poza oczekiwania zwolenników tej hipotezy, ponadto sięgnęły kresu możliwości redukcji tła. Może to zacząć powodować zmniejszenie zainteresowania (a więc i finansowania) tym kierunkiem badań jednak nawet negatywne zweryfikowanie hipotezy o istnieniu takich rozpadów będzie znaczącym krokiem w rozumieniu podstaw fizyki. Jednocześnie prace te, jak zawsze prace stawiające nowe wyzwania fizyczne zaowocowały już wieloma ciekawymi rozwiązaniami technologicznymi. W ten nurt wpisuje się oceniana u dysertacja, gdyż główne osiągnięcie pracy, polegające na zrealizowaniu układu samouczącego się, rozpoznającego właściwy kształt impulsu pochodzącego od rejestracji rozpadu podwójnego, może znaleźć zastosowanie w innych układach pomiarowych. Jest to opracowanie nowej, oryginalnej metody redukcji tła detektora (w tym przypadku germanowego). Trudno przecenić znaczenie opracowania kolejnej metody redukcji tła dla poszukiwań innych rzadkich procesów w fizyce jądrowej. Oczywiście w każdym przypadku być może pożądane będą inne rodzaje impulsów a tło stanowić będą też inne impulsy, jednak droga jest już wskazana. Było to możliwe dzięki rozwojowi elektroniki jądrowej a dokładnie wprowadzeniu już kilka lat temu do powszechnego

użytku cyfrowych analizatorów sygnału, które zastępują stosowane dotychczas klasyczne konwertery analogowo-cyfrowe współpracujące ze wzmacniaczami spektroskopowymi. Zastosowana metoda algorytmu opartego na samouczącej się sieci neuronowej wparta analizami statystycznymi jest kolejnym ciągle jeszcze nowatorskim rozwiązaniem, którego główną zaletą jest elastyczność rozumiana jako zdolność do samoadaptacji do zmiennych parametrów konkretnego układu pomiarowego. Układ został przetestowany na modelach, tym samym wyuczony a tym samym przygotowany do wykorzystania w eksperymencie GERDA II, w którym z powodzeniem od lat uczestniczy cała grupa badawcza z UJ.

Jako testowe źródło promieniowania gamma wykorzystano w całej pracy preparat zawierający ^{228}Th . Jest to troszkę mylące, gdyż ten izotop toru (o czasie połowicznego zaniku zbliżonym do 2 lat) sam nie emituje promieniowania gamma, jedynie jego krótko życiowe produkty rozpadu, z którymi bardzo szybko znajduje się w równowadze promieniotwórczej są takimi emiterami. Jestem całkowicie pewien, że Autor zdaje sobie z tego sprawę ale nie zatrzymuje się nad tym szczegółem i stąd np. rys. 2.8 na str. 32 przedstawiający wysokoenergetyczną część widma promieniowania gamma preparatu zawierającego ^{228}Th znajdującego się w równowadze promieniotwórczej z nuklidami pochodnymi podpisany jest jako przedstawiający widmo promieniowania gamma ^{228}Th . Tym samym w podpisie nie ma objaśnienia, że widoczne linie widmowe pochodzą z rozpadu nuklidów pochodnych. Dla nieprzygotowanego czytelnika jakim może być w przyszłości np. student młodszych lat fizyki, wchodzący w tą tematykę, może być bardzo mylące. Inaczej (już właściwie) Autor przedstawia zastosowanie źródła ^{228}Th w rozdziałach 3.1.5 i 3.1.6, gdzie linie widmowe pochodzące od poszczególnych radionuklidów pochodnych są już prawidłowo wymienione.

Przy całej wielkiej staranności odnośnie formy pracy, o czym już wspominałem, jej mankamentem są skróty wykorzystywane w pracy w stopniu, w mojej ocenie, za dużym. Tak częste wykorzystanie trzyliterowych, podobnych skrótów jak DEP, SEP, SSE, FEP, MSE itp. utrudnia, a nie ułatwia przekaz. W rezultacie miejscami tekst staje się niebezpiecznie zbliżonym do korporacyjnego żargonu czy też biurokratycznej nowomowy tak dobrze znanej z formularzy grantów międzynarodowych i jedynym ratunkiem jest na szczęście załączony spis objaśnień skrótów, którym czytelnik zmuszony jest posługiwać się cały czas. Jest to mój jedyny zarzut do formy pracy. Poza tym jest nienagannie zorganizowana, logicznie przeprowadzone wywody ilustrowane są bardzo starannymi ilustracjami i właściwie dobranymi argumentami.

Powyższe dwie drobne uwagi krytyczne nie zmieniają mojej niezmiennie wysokiej oceny przedstawionej dysertacji. Jestem głęboko przekonany, że praca powyższa spełnia wszelkie ustawowe wymogi stawiane rozprawie doktorskiej i stąd wnoszę o dopuszczenie Pana magistra Krzysztofa Panasa do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie wnoszę do Rady Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr Krzysztofa Panasa.

KIEROWNIK
Zakładu Fizykochemii Jądrowej
IFJ PAN

prof. dr hab. Jerzy W. Mietelski