

2017 -11- 2 8

Dr hab. Wojciech Królas
Instytut Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
w Krakowie

Kraków, 24.11.2017 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Sławomira Mianowskiego zatytułowanej
„Badanie rozpadu beta ^8He z emisją cząstek naładowanych”.**

Recenzowana rozprawa doktorska przedstawia fragment szerokiego i niezwykle ciekawego programu badań eksperymentalnych rozpadów egzotycznych, odległych od ścieżki stabilności jąder, położonych przy linii separacji protonu i neutronu. Wiodące w skali światowej badania w tej dziedzinie prowadzone są od lat przez grupę kierowaną przez profesorów Marka Pfütznera i Zenona Janasa z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego. Omawiany kierunek badań przyniósł wiele spektakularnych wyników, w tym identyfikację aktywności dwuprotonowej w rozpadzie ^{45}Fe , a także szereg prac dotyczących rozpadów β z opóźnioną emisją protonów lub neutronów. Częścią opisywanego programu jest intensywny rozwój nowatorskich technik detekcji pozwalających na prowadzenie badań spektroskopowych krótkożyjących jąder. Należy do nich skonstruowanie detektora OTPC (*Optical Time Projection Chamber*) oraz układów liczników neutronów. Trzeba podkreślić, że choć prace tego programu realizowane są w ośrodkach zagranicznych, często w szerokiej współpracy międzynarodowej, to jednak główna rola pomysłodawcy i wykonawcy badań należy do fizyków reprezentujących Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Celem recenzowanej pracy było zbadanie rozpadu β neutrono-nadmiarowych jąder ^8He , charakteryzujących się największą spośród wszystkich znanych nuklidów wartością stosunku $N/Z = 3$. Eksperyment, w którym badano własności rozpadu β przeprowadzono w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej, przy użyciu detektora OTPC (*Optical Time Projection Chamber*) skonstruowanego w Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego i wykorzystywanego wcześniej do badania promieniotwórczości dwuprotonowej. Jądra ^8He były produkowane w reakcji fragmentacji wiązki ^{18}O oraz identyfikowane przy pomocy separatora ACCULINA.

Detektor OTPC jest detektorem gazowym działającym w trybie komory dryfowej z projekcją czasu. Rejestracji rozpadów dokonuje się w nim poprzez detekcję światła emitowanego z obszaru anody, po przejściu pierwotnego ładunku jonizacyjnego przez serię folii wzmacniających. Światło rejestrowane jest w kamerze CCD (rzut obrazu przestrzennego na płaszczyznę) oraz w fotopowielaczu (zintegrowany pomiar światła w funkcji czasu). Tak skonstruowany detektor pozwala na pełną rekonstrukcję zdarzeń, to znaczy śladów cząstek naładowanych wraz z pomiarem ich energii i kierunku emisji.

W eksperymencie zaobserwowano i przeanalizowano dwa kanały rozpadu ^8He prowadzące do emisji cząstek naładowanych: $^8\text{He} \rightarrow ^8\text{Li} \rightarrow ^8\text{Be} \rightarrow 2\alpha$ oraz $^8\text{He} \rightarrow ^8\text{Li} \rightarrow \alpha + t + n$. Głównym elementem rozprawy jest analiza rozpadu β ^8He z opóźnioną emisją jąder trytu. Dla kilkuset zarejestrowanych zdarzeń takiego rozpadu wyznaczono energie emitowanego jądra trytu, cząstki alfa i neutronu, kąt rozlotu cząstek naładowanych, oraz wyliczono widmo energii wzbudzenia jąder ^8Li . Na podstawie rekonstrukcji kinematyki rozpadów $^8\text{Li}^* \rightarrow \alpha + t +$

n określono mechanizm rozpadu wysokowzbudzonego stanu 1^+ w ${}^8\text{Li}$, który po części rozpada się sekwencyjnie za pośrednictwem rezonansu ${}^5\text{He}$, po części zaś bezpośrednio, w postaci demokratycznego rozpadu trójciałowego.

W części interpretacyjnej rozprawy zaproponowano oparty o teorię macierzy R model teoretyczny uwzględniający sekwencyjny mechanizm rozpadu ${}^8\text{He}$. Przy jego pomocy wyliczono widma energii emitowanych cząstek oraz ich kąt rozlotu. Dopasowując te wyliczenia do danych eksperymentalnych wyznaczono wielkości charakteryzujące stan rezonansowy 1^+ w jądrze ${}^8\text{Li}$, jego energię wzbudzenia, szerokość oraz wartość nasilenia przejścia B_{GT} . Wyznaczone parametry pozwoliły określić ten stan jako Gigantyczny Rezonans Gamowa–Teller.

Recenzowana rozprawa składa się z wstępu, sześciu obszernych rozdziałów, dyskusji wyników i podsumowania. Pracę kończy dodatek gromadzący wzory zastosowane w analizie korelacji kątowych w sekwencyjnym scenariuszu rozpadu ${}^8\text{He}$, bibliografia oraz spis rysunków i tabel. Przedstawioną mi do recenzji pracę doktorską przestudiowałem z przyjemnością i zainteresowaniem. Została napisana z dużą dbałością o poprawność językową, bez stosowanych częstych w nauce zapożyczeń z języka angielskiego. Manuskrypt ma prostą i elegancką formę graficzną ze starannie przygotowanymi rysunkami.

Temat pracy doktorskiej podjęty przez mgr. Sławomira Mianowskiego wpisuje się w budzącą ogromne zainteresowanie dziedzinę badania egzotycznych jąder odległych od ścieżki stabilności, położonych przy linii separacji neutronu i protonu. W istocie, jądro ${}^8\text{He}$ jest układem dwóch protonów i sześciu neutronów, w którym asymetria liczby nuklidów jest największa spośród znanych, związanych układów jądrowych. Badanie rozpadów β takich jąder pozwala na poznanie struktury rozpadających się nuklidów, a także na weryfikację przewidywań modeli teoretycznych opisujących jądra egzotyczne. Oceniam wysoko wybór ambitnej tematyki pracy doktorskiej.

Przedstawiona rozprawa doktorska dobrze obejmuje wszystkie ważne dla jej treści zagadnienia, poczynwszy od wprowadzenia w tematykę badań i przedstawienia dotychczasowego stanu wiedzy na temat rozpadu β izotopu ${}^8\text{He}$, poprzez szczegółowy opis eksperymentu i użytych w nim detektorów, metodyki analizy zebranych danych, przedstawienie uzyskanych wyników, proponowanie teoretycznego opisu emisji cząstek naładowanych w rozpadzie ${}^8\text{He}$ oraz zastosowanie tego opisu do analizy danych. Pracę zamyka krótka dyskusja uzyskanych wyników, w tym otrzymanych parametrów stanu zidentyfikowanego jako Gigantyczny Rezonans Gamowa–Teller w jądrze ${}^8\text{Li}$, zaś w podsumowaniu autor wskazuje możliwy kierunek dalszych badań, zarówno pomiarów eksperymentalnych jak i rozwinięcia modelu. Oceniam bardzo wysoko kompletność przedstawionej rozprawy.

Z punktu widzenia fizyka prowadzącego prace doświadczalne ze szczególnym zainteresowaniem przestudiowałem szczegółowy opis aparatu eksperymentalnego i metodyki analizy danych, w tym opis procedury kalibracji detektora, wyznaczania błędów pomiaru poszczególnych wielkości fizycznych i ich wpływu na dokładność rekonstrukcji rejestrowanych zdarzeń. Odniosłem wrażenie, że autor rozprawy rozumie głęboko wszystkie aspekty eksperymentu i procedury opracowania danych.

W trakcie obrony pracy chciałbym zaproponować dyskusję o następujących zagadnieniach związanych z zastosowaniem detektora OTPC:

- W eksperymencie wyznaczono wartość czasu połowicznego rozpadu izotopu ${}^8\text{He}$ $T_{1/2} = 108$ ms. Jak na tej podstawie, oraz na podstawie wcześniejszych pomiarów przy użyciu detektora, można oszacować zakres czułości zaprezentowanej techniki pomiarowej, innymi słowy w jakim przedziale czasów połowicznego rozpadu

technika ta ma zastosowanie? Co stanowi największe ograniczenie przedziału zastosowania?

- Czy po stronie neutrono-nadmiarowych lekkich jąder sąsiadujących z ${}^8\text{He}$ są inne izotopy o czasach połowicznego rozpadu pozwalających na zbadanie ich rozpadów przy pomocy detektora OTPC?

W rozdziale pracy dotyczącym wcześniejszych badań rozpadu β ${}^8\text{He}$ z opóźnioną emisją jąder trytu autor przywołuje dwa eksperymenty wykonane w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych przez grupę M. Borge na separatorze ISOLDE w CERN. Jednym z istotnych wyników tych badań był pomiar rozkładów energii emitowanych w rozpadzie jąder trytu. Autor rozprawy na rys. 2.1.2 porównuje widma wyznaczone w obydwu eksperymentach, które są znacząco różne i wyraża przypuszczenie, że obserwowana różnica wynika z systematycznego błędu w uwzględnieniu warstw martwych detektora w jednym z eksperymentów. Tym niemniej, numeryczne odtworzenie rezultatów obydwu pomiarów daje dość podobny wynik energii i szerokości stanu rezonansowego w jądrze ${}^8\text{Li}$. Czy fakt ten nie świadczy o słabej czułości kształtu widma energetycznego emitowanych jąder trytu na parametry stanu rezonansowego w jądrze pośrednim?

W części pracy omawiającej analizę danych uzyskanych przy użyciu detektora OTPC autor przeprowadza porównanie scenariusza rozpadu sekwencyjnego stanu wzbudzonego 1^+ w jądrze ${}^8\text{Li}$ oraz demokratycznego rozpadu trójciałowego przy pomocy tak zwanych diagramów Dalitza, to znaczy wykresów zależności kwadratów masy niezmienniczej układu cząstek „ik” $s_{ik}^2 - s_{jk}^2$ – patrz definicje w rozdz. 7.1. Na rys. 7.1.1 pokazano zależności $s_{\alpha n}^2 - s_{tn}^2$ dla danych eksperymentalnych oraz symulacji dla sekwencyjnego i demokratycznego scenariusza rozpadu. Porównanie trzech wykresów pokazanych na rys. 7.1.1 A, B i C wskazuje, że odtworzenie danych eksperymentalnych wymaga uwzględnienia obydwu rozważanych scenariuszy. Dalsza analiza zakończona jest konkluzją, że najlepsze dopasowanie danych doświadczalnych uzyskuje się przyjmując, że 66 ± 4 % rozpadów zachodzi z utworzeniem pośredniego rezonansu w jądrze ${}^5\text{He}$, zaś pozostałe przypadki to bezpośredni rozpad do układu trójciałowego $\alpha + t + n$. Wynik ten nie podlega dyskusji, dziwi natomiast stosunkowo duża precyzja / mały błąd jego wyznaczenia.

Powyższe uwagi do przedstawionej pracy nie mają charakteru krytycznego. Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa doktorska „*Badanie rozpadu beta ${}^8\text{He}$ z emisją cząstek naładowanych*” przedstawiona przez mgr. Sławomira Mianowskiego spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych, w tym stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w jego dziedzinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Z pełnym przekonaniem wnoszę o dopuszczenie mgr. Sławomira Mianowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Dr hab. Wojciech Królas