

Streszczenie

Jądra atomowe to znakomite laboratoria do badania fundamentalnych praw przyrody. Rządzą nimi bowiem długozasięgowe oddziaływania coulombowskie, krótkozasięgowe oddziaływania silne wiążące nukleony w jądra atomowe (oddziaływania nukleon-nukleon) oraz oddziaływania słabe determinujące rozpady beta. Dogłębna analiza wszystkich trzech jest niezbędna do prawidłowego opisu nuklidów. Oddziaływania słabe rozpatruje się również z perspektywy Modelu Standardowego fizyki cząstek elementarnych, stawiającemu sobie za cel wyjaśnienie pryncypiów funkcjonowania otaczającego nas świata.

Binarna struktura jądrowa – tj. budowa układu kwantowego składającego się z dwu typów cząstek: protonów i neutronów – powoduje asymetrię oddziaływań w jądrach. Powodem są między innymi oddziaływania elektromagnetyczne wyróżniające protony przed neutronami. Takie zjawisko nazywamy w fizyce naruszeniem symetrii izospinowej. Analiza złamania tej symetrii w tzw. superdozwolonych rozpadach beta otwiera możliwości weryfikacji podstawowych hipotez Modelu Standardowego – przede wszystkim założenia, w którym struktury hadronowe wyrastają z trzech rodzin kwarków. W tym celu badam unitarność macierzy mieszania kwarków Cabibbo-Kobayashiego-Maskawy (Nagorda Nobla 2008 *"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"*). Dotychczasowe wyniki badań z użyciem efektywnego potencjału nukleon-nukleon wskazują na wysycenie liczby rodzin kwarków przez trzy generacje. Jednak rachunki z uwzględnieniem bardziej subtelnych (niż coulombowskie) oddziaływań łamiących symetrię izospinową na poziomie mezon-nukleon, czy też mezon-kwark, wskazują na odejście od unitarności macierzy CKM, sugerując jednocześnie istnienie nowych nieznanych cząstek elementarnych.

Przejścia Fermiego nie są jedynym możliwym kanałem rozpadu beta. Niemal równie prawdopodobne są tak zwane przejścia Gamowa-Tellera. Okazuje się, że prawdopodobieństwo takiego rozpadu jest od lat systematycznie przeszacowywane przez obliczenia teoretyczne względem danych doświadczalnych. Efekt tej redukcji nazwano problemem *quenchingu* stałej sprzężenia elektroślabych prądów typu Gamowa-Tellera g_A . Tą stałą można badać zarówno na gruncie fizyki cząstek elementarnych jak i fizyki jądrowej. Wnioski z rachunków wykonanych w ramach doktoratu pozwoliły na odrzucenie głównej hipotezy rozwiązania tej zagadki, mianowicie wad konstrukcji modelu teoretycznego. Analiza porównawcza wskazała na konieczność uwzględnienia elektroślabych prądów wyższego rzędu, co potwierdziły późniejsze rachunki *ab initio*.

Zrozumienie mechanizmu *quenchingu* jest niezwykle istotne z punktu widzenia badań bardzo interesującego fizyków jądrowych oraz naukowców zajmujących się fizyką cząstek elementarnych zjawiska jakim jest proces podwójnego rozpadu beta w kanale bezneutrinowym ($0\nu\beta\beta$). Jest to obecnie jedno z najbardziej poszukiwanych zjawisk fizycznych.

Zaobserwowany proces świadczyłby o istnieniu fizyki poza ugruntowanym Modelem Standardowym. Odkrycie oscylacji neutrin (Nagroda Nobla 2015) zwiększyło wśród fizyków zainteresowanie poszukiwaniem procesu $0\nu\beta\beta$, którego istnienie wymaga niezerowej masy tych cząstek.

Sygnały pochodzące z wielu niezależnych eksperymentów wskazują na konieczność rozszerzenia Modelu Standardowego o nieznane dotąd prawa fizyki. Niezwykle istotne są zatem badania potencjalnie wskazujące na elementy Modelu Standardowego, w których nasze zrozumienie otaczającego świata jest niewystarczające. Narzędzi badawczych dostarczają w tym przypadku wielociałowe metody fizyki jądrowej takie jak rozwijany w niniejszej rozprawie uogólniony funkcjonal gęstości z przywróconymi symetriami: obrotową i izospinową. Wykorzystując ten formalizm w rozprawie zbadano: rozpady beta pod kątem weryfikacji podstawowych hipotez Modelu Standardowego (takich jak istnienie trzech generacji kwarków), zagadkę dotyczącą efektu *quenchingu* stałej g_A oraz przedstawiono badania nad funkcją odpowiedzi Gamowa-Tellera dla kilku reprezentatywnych przypadków. Zbadano również regułę sum Ikedy celem weryfikacji zupełności przestrzeni konfiguracyjnej w modelu.

Maciej Kuźniecki