

Rozpad beta w uogólnionym modelu funkcjonału gęstości

Jądra atomowe to znakomite laboratoria fundamentów przyrody, którą rządzą 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 fizyki cząstek elementarnych Modelu Standardowego mającego za zadanie wyjaśnić pryncypia 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 wystają z trzech rodzin kwarków. W tym celu badam unitarność macierzy mieszania kwarków Cabibbo-Kobayashiego-Maskawy (Nagroda 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 superdozwolone to niejedyny możliwy kanał 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 sprężenia elektroślabych prądów typu Gamowa-Tellera g_A . Tą stałą można badać zarówno na gruncie fizyki cząstek elementarnych jak i fizyki jądrowej. Postawione dotąd hipotezy rozwiązania tej zagadki dotyczą uwzględnienia elektroślabych prądów wyższego rzędu oraz wewnętrznej struktury nukleonu i jego wzbudzeń do stanów rezonansowych.

Kolejnym zjawiskiem niezwykle interesującym dla fizyków jądrowych oraz naukowców zajmujących się fizyką cząstek elementarnych 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.

Sygnaly pochodzące z wielu niezależnych eksperymentów wskazują na konieczność rozszerzenia Modelu Standardowego o nieznaną 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 – w tym projekcie uogólniony funkcjonał gęstości z przywróconymi symetriami: obrotową i izospinową. W mojej pracy doktorskiej badam: rozpady beta pod kątem weryfikacji podstawowych hipotez Modelu Standardowego (takich jak istnienie trzech generacji kwarków), zagadkę dotyczącą efektu *quenchingu* stałej g_A oraz czasy życia izotopów potencjalnie rozpadających się w podwójnym procesie beta w kanale bezneutrinowym.