



Podobieństwo oddziaływań jądrowych pomiędzy dwoma protonami, dwoma neutronami oraz neutronem i protonem nosi nazwę symetrii izospinowej. Pomimo, że symetria ta nie należy do fundamentalnych symetrii przyrody jest ona powszechnie używana do opisu jąder atomowych. Odpowiedź na pytanie o fizyczne przyczyny jej naruszenia nie jest jednak jednoznaczna, zmieniając się wraz ze stopniem zaawansowania stosowanego modelu teoretycznego lub, jak mówią fizycy, wraz z jego rozdzielczością. W podejściu fundamentalnym, jakim jest chromodynamika kwantowa, przyczynami jej naruszenia są różne masy i ładunki kwarków, które obok gluonów są podstawowym budulcem materii hadronowej. Przy

niższych energiach, kiedy kwarki i gluony stają się niewidoczne, a właściwymi stopniami swobody są bariony i mezony, za naruszenie symetrii izospinowej odpowiedzialne jest oddziaływanie coulombowskie i efektywne oddziaływanie silne, mające swą przyczynę w różnicach mas barionów i mezonów, procesach wymiany mezonowej czy mezonowo-fotonowej.

Celem niniejszego projektu jest zbadanie efektów naruszenia symetrii izospinowej w jądrach atomowych przy pomocy różnych wariantów teorii funkcjonału gęstości (DFT). DFT idealnie nadaje się do tego celu, ponieważ uwzględnia, w sposób samouzgodniony, wzajemne oddziaływanie pomiędzy krótkozasięgowymi oddziaływaniami silnymi i długozasięgowymi efektami coulombowskimi. W ramach DFT łatwo jest także zaimplementować krótkozasięgowe oddziaływania łamiące symetrię izospinową.

Po uwzględnieniu zarówno długo- jak i krótkozasięgowych sił naruszających izospin, przywróceniu naruszonych symetrii i po uwzględnieniu mieszania konfiguracji planujemy zastosować tak skonstruowany model do obliczeń struktury i rozpadów jąder atomowych. W szczególności chcemy zbadać jądrową energię symetrii, podstawową wielkość fizyczną, która wyznacza odpowiedź jądra na zaburzenie spowodowane efektami naruszenia symetrii izospinowej i nadwyżką neutronów lub protonów. Energia symetrii wpływa na szereg obserwabli począwszy od subtelnego efektu mieszania izospinowego po strukturę i masy gwiazd neutronowych. Celem podstawowym jest badanie procesów słabych zachodzących w jądrach atomowych, ze szczególnym uwzględnieniem procesów pozwalających testować Model Standardowy i poszukiwać tzw. *nowej fizyki* takich jak superdozwolone rozpady  $0^+ \rightarrow 0^+$ . Ta szczególna klasa rozpadów, po uwzględnieniu niewielkich poprawek teoretycznych m.in. na łamanie izospinu, pozwala zweryfikować hipotezę zachowanego prądu wektorowego, a w konsekwencji jest najprecyzyjniejszym obecnie źródłem informacji o wartości natężenia oddziaływań słabych i elementu macierzowego  $V_{ud}$  macierzy Cabbibo-Kobayashi-Maskawy. W planach mamy uogólnienie stosowanych metod w taki sposób by możliwe stało się liczenie (i) wzbronionych rozpadów beta, (ii) elementów macierzowych dla podwójnego rozpadu beta z udziałem dwóch neutrin, po (iii) obliczenie elementów macierzowych dla bezneutronowego podwójnego rozpadu beta ( $0\nu\beta\beta$ ). Obliczenie (wiarygodne) elementów macierzowych dla rozpadu  $0\nu\beta\beta$  ma kapitalne znaczenie z punktu widzenia praktycznego. Proces ten, o ile w ogóle możliwy, należy do najrzadszych w przyrodzie. Jest on zatem niezwykle trudny i kosztowny w realizacji, ale jego pomiar ukazałby prawdziwą naturę neutrin, pomógł rozwiązać problem hierarchii mas neutrin czy też asymetrii pomiędzy materią i antymaterią, a w konsekwencji wskazałby teoretykom drogę do uogólnień Modelu Standardowego.