

Wpłynęło dnia 2020.-09-08
Warszawa, 2-go września 2020r. *m*

Prof. dr hab. Piotr Magierski
Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej
ul. Koszykowa 75, 00-667 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Konieczki
pt. *Rozpad beta w uogólnionym modelu jądrowego funkcjonału gęstości..*

Praca doktorska mgr. Macieja Konieczki jest poświęcona badaniu rozpadów beta w jądrach atomowych w celu weryfikacji podstaw Modelu Standardowego, oraz efektów związanych z naruszeniem symetrii izobarycznej (izospinowej) w układach jądrowych. Rozprawa została oparta na wynikach opublikowanych w sześciu artykułach w czasopismach recenzowanych (dwie prace w Acta Physica Polonica B, trzy w Physical Review C, jedna w Computer Physics Communication), oraz jednym artykule będącym w recenzji. Prace teoretyczne posiadają od trzech do jedenastu autorów. Mgr Maciej Konieczka jest pierwszym autorem w czterech opublikowanych pracach, co sugeruje, że jego wkład w badania był dominujący. Ponadto w pracy doktorskiej przedstawione zostały zagadnienia zawarte w czterech innych pracach, których doktorant jest współautorem.

Celem pracy była analiza rozpadów beta w ramach metody DFT-NCCI (*DFT-rooted No-Core Configuration-Interaction*), wykorzystującej podejście oparte na teorii funkcjonału gęstości połączonej z rzutowaniem na całkowity moment pędu i izospin, oraz z mieszaniem konfiguracji. Autor dokonał implementacji numerycznej metody oraz zastosował ją do badania przejść beta typu Fermiego i Gamowa-Tellera.

Pierwsze trzy rozdziały pracy mają charakter wprowadzający. Rozdział pierwszy omawia podstawowe symetrie oddziaływania silnego. Rozdział drugi jest poświęcony fizyce rozpadu beta. Autor przedstawia teorię Fermiego i elementy teorii oddziaływań elektroslabych, a także metody wyznaczania elementu macierzy CKM związanej z mieszaniem kwarków „u” i „d”. W rozdziale trzecim doktorant omówił elementy teorii pola średniego (Hartree-Focka) oraz własności oddziaływania efektywnego typu Skyrme’a używanego powszechnie w fizyce jądrowej i jego rozszerzenia o człony izowektorowe. Ponadto przedyskutowane zostały metody przywracania symetrii rotacyjnej i izospinowej oraz metoda MR DFT (wieloreferencyjna teoria funkcjonału gęstości) i DFT NCCI. Rozdziały czwarty i piąty stanowią centralną część pracy. W rozdziale czwartym omówiono wyniki otrzymane dla rozpadów beta w jądrach zwierciadlanych (dla izospinu $T=1/2$). Określono zależność poprawki izospinowej od rzutowania na izospin, orientacji prądu cząstek walencyjnych, oraz od oddziaływania łamiącego symetrię ładunkową w oddziaływaniu Skyrme’a uwzględnionego we wiodącym rzędzie (*leading order*) oraz następnym rzędzie (*next to leading order*). Dokonano również analizy czułości poprawki izospinowej na strukturę stanów jednocząstkowych w jądrach i wyznaczono element macierzy CKM odpowiadający mieszanemu kwarków „u” i „d”. Wynik okazał się konsystentny z przewidywaniami uzyskanymi w ramach zupełnie innego podejścia teoretycznego opartego na modelu powłokowym. W rozdziale piątym badano rozpad beta typu Gamowa-Tellera. W szczególności określono źródła zmniejszenia elementu macierzowego odpowiedzialnego za rozpad beta w układzie jądrowym. Wyznaczono funkcję odpowiedzi GT dla lekkich jąder 8Li i 24Mg oraz przeprowadzono rachunki dla superdozwolonego rozpadu beta jądra 100Sn.

Praca doktorska p. Macieja Konieczki wpisuje się w bardzo ciekawy program badawczy polegający na rozszerzeniu jądrowej metody funkcjonału gęstości w taki sposób, aby możliwe było badanie subtelnych efektów związanych z łamaniem symetrii izospinowej. W tym celu konieczne jest przywracanie symetrii obrotowej i izospinowej łamanej przez pole średnie. Autor wypracował w tym celu metodę DFT-NCCI, która ma przewagę nad używanym dotychczas modelem powłokowym, w którym zaniedbuje się efekty polaryzacji rdzenia. Uważam że jest to ciekawe

podejście, które może stać się alternatywą dla modelu powłokowego, mimo trudności związanych z konsystentnym połączeniem technik rzutowania z zależnością od gęstości efektywnych oddziaływań dwunukleonowych.

Praca doktorska zawiera szereg ciekawych rezultatów, a jej zaletą są bardzo skrupulatne analizy otrzymanych wyników. Do najważniejszych osiągnięć należy bez wątpienia wyznaczenie współczynnika macierzy CKM odpowiedzialnego za mieszanie kwarków „u” i „d”, który otrzymany w metodzie DFT-NCCI okazał się zgodny z przewidywaniami modelu powłokowego. W pracy wyznaczono również po raz pierwszy funkcję odpowiedzi Gamowa-Tellera przy zastosowaniu formalizmu DFT-NCCI. Na wyróżnienie zasługuje bardzo ciekawa analiza własności sił Skyrme’a niezależnych od gęstości zawarta na str. 42-43. Niezwykle cenne są również drobiazgowo analizy anomalii poprawki izospinowej związanej ze strukturą powłokową jąder, jak również analizy błędów wpływających na wartość tej poprawki. Innym kluczowym wynikiem pracy jest konkluzja płynąca z analizy źródła tłumienia elementu macierzowego odpowiadającego za przejście typu Gamowa-Tellera. Autor wykazał, że wyjaśnienia proponowane na gruncie modelu powłokowego, wiążącego ten efekt ze wzbudzeniami rdzenia, są błędne.

Praca jest napisana starannie i klarownie, choć mam kilka drobnych uwag:

- Wydaje mi się, że paragraf dotyczący grup symetrii i ich reprezentacji mógł być przesunięty do załącznika. Stanowi on bowiem tylko przypomnienie bardzo podstawowych i podręcznikowych informacji dot. grup Liego i ich reprezentacji.
- We wzorze 1.19 indeks ‘k’ nie jest potrzebny. Jest bowiem tylko jeden operator odwrócenia czasu.
- Na stronie 9 wyrażenie „hamiltonian jest symetryczny względem pewnego operatora wtedy i tylko wtedy gdy jest przemienny z generatorem symetrii” wydaje się pewnym skrótem myślowym.
- We wzorze 1.39: tr. Galileusza powoduje również pojawienie się dodatkowej fazy funkcji falowej $\exp(i m V^2 t/2)$, której brakuje w tym wzorze. (V jest prędkością względną układów).
- Wydaje mi się, że we wzorze 3.6 brakuje podzielenia przez normę stanu 3.4, zwłaszcza w kontekście wykorzystania wyniku do wyrażenia energii całkowitej układu.
- We wzorze 3.26 użyto oznaczenia w postaci otwartego kółka, które nie jest wyjaśnione w tekście (iloczyn skalarny?)
- We wzorze 3.44 nie zdefiniowano postaci wkładów do energii całkowitej.

Uważam że rozprawa doktorska dokumentuje bardzo solidną pracę badawczą o dużym znaczeniu dla naszego rozumienia roli łamania symetrii izospinowej i jej wpływu na przemiany beta. Jestem pewien, że dzięki wypracowanym technikom teoretycznym i obliczeniowym wyniki tej pracy staną się punktem wyjścia dla dalszych badań związanych z procesami elektroslabymi w układach jądrowych mających kluczowe znaczenie zarówno dla badania podstaw Modelu Standardowego, jak i procesów związanych z nukleosyntezą.

Wnioskuje o dopuszczenie p. Macieja Konieczki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Zgłaszam ponadto wniosek o wyróżnienie rozprawy.

