

Aleksandra Pędrak

„Ukryte symetrie w modelach jądrowych”

promotor: prof. dr hab. Andrzej Gózdź

(Streszczenie rozprawy doktorskiej)

Celem rozprawy było dokonanie analizy bezpośrednio niewidocznych struktur grup symetrii w modelach jądrowych. Jako symetrie ukryte rozumiemy tu grupy symetrii, które nie manifestują się jawnie w matematycznej formie operatora Hamiltona, lecz jednocześnie mają wpływ na własności fizyczne układu. Sposobem na poszukiwanie takich grup symetrii mogą być transformacje hamiltonianu do tzw. układów wewnętrznych, w szczególności układu sztywno związanego z rotującym jądrem. Inną możliwością jest rozkład hamiltonianu systemu na sumę ortogonalnych członów o różnych symetriach, tak zwany rozkład na symetrie parcjalne.

Opis przejścia do rotującego wraz z jądrem układu wewnętrznego w modelach jądrowych jest problemem dobrze znanym, jednak zagadnienie analizy grup symetrii hamiltonianu po takiej transformacji, szczególnie przy uwzględnieniu niejednoznaczności przejścia, jest ciągle otwarte i pozostawia jeszcze pole do badań. Podobnie jak kwestia rozkładu hamiltonianu na symetrie parcjalne która wydaje się być tematem zupełnie nowym. Motywacją do pracy nad tymi właśnie zagadnieniami był brak odpowiednio dobrej koncepcji pozwalającej na poszukiwanie i analizę takich struktur, które jednak, jak przewidujemy, mogą pomóc w dokładniejszej klasyfikacji widm, czy konstrukcji reguł wyboru uzupełniających te wynikające z globalnej grupy symetrii. Głównym problemem pracy było zaproponowanie systematycznej metody poszukiwania ukrytych grup symetrii, oraz określenie ich wpływu na takie wielkości jak prawdopodobieństwa przejść kwantowych czy struktura widmowa hamiltonianu.

W pierwszym rozdziale tej pracy przedyskutowane zostało ogólne pojęcie układu wewnętrznego. Oprócz przeglądu tradycyjnych ujęć tego pojęcia zamieszczamy także definicję układu wewnętrznego bazującą na teorii grup. Przedstawione zostały tam też narzędzia matematyczne służące do analizy grup symetrii w układzie wewnętrznym. Analizie zostaje też poddana podstawowa własność transformacji do układu wewnętrznego: istnienie tak zwanej grupy symetryzacji. Opisany został wpływ grupy symetryzacji na strukturę przestrzeni stanów kwantowych oraz operatorów obserwabli zapisanych w układzie wewnętrznym. Zostały też opisane procedury symetryzowania, względem grupy symetryzacji, obserwabli w układzie wewnętrznym.

Ponieważ istnienie grupy symetryzacji istotnie ingeruje w strukturę symetrii hamiltonianu wewnętrznego, kolejną ważną kwestią było uściślenie pojęcia "fizyczności". Problem stanowiło określenie kryteriów, jakie musi spełniać opis teoretyczny w układzie wewnętrznym, aby zagwarantowane było jednoznaczne odniesienie wyników teoretycznych do faktycznych fizycznych stanów układu. Sformułowana w rozdziale drugim definicja "fizyczności" pozwoliła na stworzenie procedury oddzielenia symetrii pochodzących z własności fizycznych od tych które są wynikiem niejednoznaczności transformacji. W tym też rozdziale został przeprowadzony dowód równoważności różnych układów wewnętrznych.

W rozdziale trzecim analizie zostały poddane tak zwane symetrie parcjalne. Zostały one przedstawione jako symetrie pewnych części hamiltonianu, symetrie subhamiltonianów, oraz jako symetrie na przestrzeni parametrów. Wartym podkreślenia wynikiem jest tutaj zaproponowanie metody rozkładu na symetrie parcjalne, która z powodzeniem może być wykorzystywana w rachunkach numerycznych. Innym zupełnie nowym pomysłem jest idea poszukiwania symetrii nie tylko w obszarze przestrzeni zmiennych ale także przestrzeni parametrów.

Rozdział czwarty zawiera przykłady realizacji teoretycznych analiz w praktycznych rachunkach. Pierwszym z tych przykładów jest dwuwymiarowy model hamiltonianu kolektywnego. Drugim przykładem jest model hamiltonianu z symetriami parcjalnymi. Stanowią one ilustrację wyników otrzymanych w poprzednich rozdziałach. Rozdział piąty odbiega nieco treścią od pozostałych zawiera bowiem wyprowadzenie kwantowych multipolowych operatorów przejść elektromagnetycznych w przestrzeni kolektywnej metodą zmiennej generującej w tak zwanym przybliżeniu gaussowskim. Wpisuje się on jednak w obszar badań nad symetrią układów jądrowych. W końcowej części pracy znajduje się także uzupełnienie, które zawiera omówienie podstawowych pojęć matematycznych wykorzystywanych w tej pracy.

Głównym atutem wyników teoretycznych przedstawionych w niniejszej pracy jest ich uniwersalność. Idea układu wewnętrznego, analizy jego symetrii czy idea symetrii parcjalnych mogą być z powodzeniem stosowane nie tylko do modeli jądrowych, ale właściwie w przypadku dowolnego układu kwantowego.

Aleksandro Polak