

Streszczenie rozprawy doktorskiej

“Super-Tonks-Girardeau effect in the low-dimensional Bose gases with competing interactions”

Jednym z fundamentalnych osiągnięć mechaniki kwantowej było odkrycie bozonów i fermionów, charakteryzujących się wyraźnie odmiennymi właściwościami statystycznymi. Przez dziesięciolecia własności tych dwóch typów cząstek stanowiły punkt wyjścia dla rozwoju wielu obszarów fizyki. Jednym z interesujących rezultatów tych badań było odkrycie głębokiego podobieństwa pomiędzy silnie odpychającymi się bozonami a nieoddziałującymi fermionami w jednowymiarowych układach. W układach bozonowych obecność silnych oddziaływań sprawia, że dwie cząstki praktycznie nigdy nie mogą znajdować się w tym samym miejscu, co skutecznie imituje działanie zakazu Pauliego charakterystycznego dla fermionów. To formalne podobieństwo prowadzi do zgodności energii oraz funkcji korelacji drugiego rzędu obu typów układów, co stało się podstawą do określenia takich stanów mianem „sfermionizowanych”.

Co istotne, podobieństwo to występuje nie tylko w przypadku silnie odpychających się bozonów, ale również w pewnych wysoko wzbudzonych stanach układów o bardzo silnych przyciągających oddziaływaniach. Te wysoce nieintuicyjne stany nazwano stanami super-Tonksa-Girardeau. Ich istnienie zostało potwierdzone eksperymentalnie poprzez przygotowanie sfermionizowanego stanu bozonów, a następnie gwałtowną zmianę charakteru oddziaływań z silnie odpychających na silnie przyciągające. Eksperymenty te wykazały zaskakującą stabilność takich układów oraz ich odporność na termalizację.

W niniejszej rozprawie przedstawiono teoretyczne podstawy tego zjawiska oraz omówiono możliwość jego wykorzystania w realizacji tzw. procesu pompowania, umożliwiającego generowanie w kontrolowany sposób stanów wysoko wzbudzonych. Szczególną uwagę poświęcono silnie skorelowanym stanom wzbudzonym doskonałego gazu bozonowego, w których właściwości układu wykazują uderzające podobieństwo do zachowania nieoddziałujących fermionów w modelach o zredukowanej długości. W odróżnieniu jednak od „klasycznej” fermionizacji, w tym przypadku podobieństwo dotyczy energii i rozkładu pędów, przy jednoczesnych istotnych różnicach w funkcjach korelacji drugiego rzędu.

W dalszej części pracy przeanalizowano konsekwencje nagłych zmian oddziaływań w układach bozonowych, w których obecne są dwa konkurujące ze sobą typy oddziaływań: silnie odpychające kontaktowe oraz Nielokalne przyciągające. Wykazano, że pojawiające się w takich systemach stany samozwiązane można podzielić na dwie klasy, różniące się zachowaniem po gwałtownej zmianie oddziaływań: (i) w przypadku dostatecznie silnego Nielokalnego przyciągania układ pozostaje stabilny, a

wśród stanów własnych nowego hamiltonianu pojawia się stan super-Tonksa-Girardeau; (ii) istnieją również stany samozwiązane, które ulegają dezintegracji - w ich przypadku nie obserwuje się obecności stanu super-Tonksa-Girardeau.

W rozprawie zastosowano szeroki wachlarz metod badawczych, ze szczególnym uwzględnieniem analitycznych narzędzi teorii układów wielociałowych (w tym *Ansatzu Bethego*) oraz obliczeń *ab initio*, takich jak nowoczesne metody numeryczne oparte na sieciach tensorowych oraz ścisłą diagonalizację z użyciem metody Lanczosa.

Najważniejsze wyniki zaprezentowanych badań to:

- identyfikacja stanów doskonałego gazu bozonowego, charakteryzujących się identycznym rozkładem pędów jak układ nieoddziałujących fermionów, możliwych do uzyskania poprzez proces pompowania,
- oraz wykazanie, że część stanów związanych w układach z oddziaływaniami dipolowymi nie posiada odpowiednika w postaci analogicznego stanu super-Tonksa-Girardeau i po skokowej zmianie oddziaływań ulega dezintegracji.

Maciej Marciniak

