

## Opinia o pracy doktorskiej magistra Andrzeja Syrwida

Niezwykle obszerna praca doktorska Andrzeja Syrwida poświęcona jest solitonom w kwantowym gazie w opisie wielocząstkowym, jedynie jako odnośnik odwołującym się do wyników uzyskiwanych metodami pola średniego. Rozważane są modele jednowymiarowe oraz przyciągające i odpychające oddziaływania kontaktowe.

Praca składa się z trzech rozdziałów oraz licznych (16) dodatków. Napisana została poprawną angielszczyzną. Pierwszy rozdział zawiera przegląd znanych ścisłych rozwiązań. Klasycznym przykładem jest tu układ odpychających się bozonów poruszających się po okręgu - słynny model Lieba-Linigera. Opisane zostały jednak także inne, spokrewnione przykłady: przyciągające się bozony na okręgu, podobne układy w pudle, ale także analogiczne układy dwuskładowych fermionów. Prezentacja tych znanych wyników jest bardzo elegancka. Uniwersalnym punktem wyjścia jest tak zwany „Ansatz Bethego” dla wielocząstkowych funkcji falowych stanów własnych odpowiedniego hamiltonianu.

Jest pewna subtelność, z której być może doktorant nie w pełni zdaje sobie sprawę. Autor kilka razy zauważa, że stany własne w pudle nie mają określonego całkowitego pędu. Dlaczego? Otóż dla cząstki w pudle nie można zdefiniować samosprężonego operatora pędu, ponieważ zwykły operator różniczkowania z dziedziną złożoną z funkcji znikających na ściankach pudła ma operator sprzężony określony na większej dziedzinie. Co więcej, operator ten ma nieskończenie wiele nierównoważnych samosprężonych rozszerzeń. Podkreślam, że eleganckie podsumowanie wiedzy o jednowymiarowych układach atomowych ma duże walory edukacyjne. Warto jego lekturę polecić doktorantom.

Drugi rozdział pracy zawiera wyniki oryginalne. Zostały one opublikowane w serii wieloautorskich artykułów z istotnym udziałem autora. Prace te ukazały się w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Od wielu lat trwała dyskusja na temat tak zwanych wzbudzeń II rodzaju w modelu Lieba-Linigera. Wielu autorów odnajdowało związki tych wzbudzeń z solitonowymi rozwiązaniami znanymi z przybliżenia pola średniego. Oczywiście ciemny soliton ze swej natury jest zlokalizowany. Taki twór łamie

symetrię obrotową układu na okręgu. Zatem, twierdzono, stany własne modelu Lieb-Liniger same nie mogą opisywać ciemnych solitonów. Albo, więc, konstruowano solitony jako paczki falowe złożone z wielu stanów własnych (ostatnio J. Brant), albo łamano symetrię modelu L-L za pomocą dodatkowego, słabego asymetrycznego pola sił (L. Carr). W przełomowej, moim zdaniem, najciekawszej pracy autor wraz ze swoim promotorem wykazali, że to pomiar w naturalny sposób łamie symetrię. W ten sposób odnaleziono ciemny soliton w pojedynczym tak zwanym stanie yrast modelu L-L. To ogólna prawidłowość. Spontaniczne łamanie symetrii zwykle indukowane jest pomiarem. W różnych pomiarach tego samego stanu soliton pojawia się w różnych miejscach. Taki soliton zostaje zlokalizowany, ale pojawia się pytanie o ruch. Tu znowu powraca konieczność pomiaru. Przybliżoną lokalizację początkową daje pomiar zaledwie kilku z zespołu atomów. Wówczas pozostałe są paczką falową stanów własnych i poruszają się jak przystało na soliton. Są paczką, więc rozplývają się. W trudnych rachunkach modelu L-L autor ma dostęp do małych układów na przykład 8 atomów, więc rozplývanie jest bardzo szybkie. Wszystko to obszernie dyskutowane jest w pracy doktorskiej. Oprócz pojedynczych solitonów autor buduje także stany dwusolitonowe. Tu jednak pojawia się pewne ograniczenie. Takie pary ciemnych solitonów pojawiają się zawsze w przeciwnych punktach okręgu. Tymczasem przybliżenie pola średniego nie nakłada takiego ograniczenia. Nie jest dostatecznie jasne dlaczego. W badaniu dynamiki szczególnie ładny jest opis zderzenia szarego solitonu z ciemnym. Warto podkreślić, że ściśle rozwiązania wielociałowe pozwalają także zbadać „solitony” w obecności silnych oddziaływań, poza zasięgiem stosowalności przybliżenia pola średniego. Oczywiście autor korzysta z powodzeniem z tej możliwości.

Pozostałe części tego rozdziału poświęcone są solitonom w pudle. Tu nie ma symetrii względem przesunięć, więc pomiar nie ma czego łamać, ale pozwala zbadać kwantowe fluktuacje. Wreszcie, powiększając złożoność rachunków numerycznych dyskutowane są ciemne solitony w dwu składnikowym, jednowymiarowym gazie Fermiego. W tym modelu jest pewna, nie wspomniana przez autora, słabość. Otóż w przeciwieństwie do trzech wymiarów, w jednym wymiarze, odpychające oddziaływania

kontaktowe nie mają związanego stanu molekularnego. Stąd poprawna fizycznie dyskusja przejścia BEC-BCS nie jest możliwa.

W trzecim rozdziale autor przypomina łamanie symetrii układu opisywanego niezależnym względem przesunięć hamiltonianem. Na marginesie: nie ma w przyrodzie takich trójwymiarowych układów. Prawdziwe kryształy są skończone i ich ścianki łamią symetrię. Matematyczny przykład kryształów przestrzennych służy tylko do wprowadzenia przez analogię modnego pojęcia kryształów czasowych. Świetnym przykładem okazuje się stan yrast bozonów poruszających się po okręgu i przyciągających się kontaktowo. Taki stan wzbudzony, ze spontanicznie złamaną symetrią poprzez pomiar jednego atomu staje się biegnącym jasnym solitonem. Wypełnia więc podstawowe warunki czasowego kryształu, który jednak rozmywa się w czasie. Autor przekonuje, że w granicy termodynamicznej takie rozplywanie się paczki falowej nie nastąpi. Na koniec autor wykazuje jeszcze ciekawe własności takiego jasnego solitonu po wyłączeniu oddziaływań, gdy ewolucja staje się okresowa. Wysoko oceniam uzyskane w tym rozdziale wyniki.

Podsumowując: przedstawiona do oceny praca magistra Andrzeja Syrvida jest świetnie napisaną monografią na temat ciemnych solitonów w opisie wielociałowym w geometrii jednowymiarowej. Autor wspaniale zna literaturę przedmiotu. W czasie pracy nad doktoratem uzyskał znaczące i oryginalne wyniki naukowe. Znakomicie wykonuje też bardzo złożone rachunki numeryczne. Jestem przekonany, że stoi przed nim bardzo udana kariera naukowa. Wnioskuję o dopuszczenie magistra Andrzeja Syrvida do publicznej obrony oraz proponuję wyróżnienie tego doktoratu.



prof. dr Kazimierz Rzążewski