

Prof. dr hab. Jacek Dziarmaga
Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Prof. Stanisława Łojasiewicza 11
30-348 Kraków
e-mail: jacek.dziarmaga@uj.edu.pl

9 sierpnia 2025

Ocena rozprawy doktorskiej pana magistra Macieja Marciniaka pt.
Super-Tonks-Girardeau effect in the low-dimensional Bose gases with competing interactions.

Przedstawiona rozprawa opisuje układy bozonów w jednym wymiarze, najczęściej w granicy silnych oddziaływań, które powodują, że cząstki unikają się wzajemnie i pod pewnymi względami zachowują się jak Fermiony spełniające zakaz Pauliego. Centralną rolę odgrywa tytułowy efekt super-Tonks-Girardeau, polegający na przekrywaniu się stanów własnych w granicach silnych oddziaływań odpychających i przyciągających. Pozwala to na pompowanie do metastabilnych stanów wysoko wzbudzonych przy pomocy sekwencji adiabatycznych przeciągań i nagłych zmian hamiltonianu. Rozprawa opiera się na jednej publikacji w Physical Review A i jednym e-princie. W obydwu doktorant jest pierwszym autorem. Ponadto jest on współautorem publikacji w SciPost Physics i Physical Review Research Letters, przy czym w drugiej z nich jest jednym z dwu pierwszych autorów. Dotyczą one również gazów jednowymiarowych, więc mogłyby wejść w skład rozprawy doktorskiej o odpowiednio ogólniejszym tytule, jednak ze stratą dla spójności i przejrzystości wywodu.

Rozprawę czyta się bardzo dobrze. Jest to po części zasługa autora, a po części tematu rozprawy. Autor nie ukrywa, że ma ambicje popularyzatorskie, a co najmniej chciałby wprowadzić w temat swoich młodszych następców. I rzeczywiście większość rozprawy w zasadzie mogłaby być zrozumiała dla studenta po podstawowym kursie mechaniki kwantowej. Dotyczy to zwłaszcza wstępnych rozważań dotyczących cząstki w potencjale lub potencjałach typu delta Diraca lub dwu cząstek oddziałujących takimi potencjałami. Uogólnienie na większą liczbę cząstek siłą rzeczy staje się nieco bardziej skrótowe, a wiele cząstek potraktowanych numerycznie przy pomocy sieci tensorowych musi trochę przypominać zastosowanie czarnej skrzynki, chociaż wprowadzenie do samej metody sieci tensorowych znowu jest bardzo przejrzyste, o ile mogę to ocenić. Bardzo polecam tę rozprawę następcom pana magistra Marciniaka jako wstępną lekturę.

Na recenzencie robi dobre wrażenie szeroka rozpiętość metod stosowanych w rozprawie od prostych modeli cząstki w potencjale lub potencjałach typu delta Diraca, poprzez uogólnienie do dwu cząstek w układzie środka masy, aby wreszcie dla większej liczby cząstek zastosować postawienie Bethego. To ostatnie jest stosunkowo łatwe do zrozumienia, co niekoniecznie znaczy, że jest proste w praktycznych obliczeniach, zwłaszcza gdy zależy nam na efektywności, która bardzo szybko spada wraz z liczbą cząstek. Tam gdzie zawodzi metoda Bethego w pewnym stopniu w sukurs przychodzą sieci tensorowe, które dobrze sobie radzą ze stanami podstawowymi, jednak zawodzą, gdy po nagłej zmianie hamiltonianu szybko narasta splątanie w układzie, zwłaszcza dla większej liczby cząstek. W tym obszarze ciekawe staje się efektywne przybliżenie lokalnej gęstości, które pozwala te rozważania rozszerzyć dla większej liczby cząstek. Cieszę się, że doktorant biegle opanował tak różnorodne metody, ze zrozumieniem dla ich ograniczeń.

Ta rozpiętość metod jest ściśle związana z logiką wyvodu, który wychodząc od jednej cząstki następnie uogólnia zjawisko na układy coraz większej liczby cząstek. Jest niezmiernie ciekawe, że efekt super-Tonks-Girardeau to uogólnienie przeżywa, co nawet można potwierdzić doświadczalnie.

Rozprawę przeczytałem z przyjemnością. Lektura nasunęła mi szereg pytań i komentarzy. Oto niektóre z nich:

- 1) Obrazek 3.6 przedstawia schematycznie procedurę pompowania, gdzie oddziaływanie jest przemiatane pomiędzy minus a plus nieskończonością. Co jednak jeśli te graniczne wartości są skończone, co jest nieuniknione w praktyce? Wtedy równości (3.24) nie są dokładnie spełnione. Czy ta niedokładność wpływa na skuteczność pompowania i w jakim stopniu?
- 2) Hamiltonian (4.26) fermionizuje bozony silnie oddziałujące potencjałem kontaktowym U . Został on użyty, aby perturbacyjnie wyliczyć energię stanu podstawowego (4.27), przy czym stanem niezaburzonym jest tu morze Fermiego o określonej gęstości. Na tej podstawie uzyskano diagram fazowy. Takie podejście analityczne ma ogromne zalety, które w pełni ujawniają się w następnym rozdziale w równaniach (4.27,4.28), gdzie pozwalają na badanie ewolucji w czasie. Zastanawiam się jednak, czy tego diagramu fazowego nie warto było zweryfikować przy pomocy nieskończonego DMRG. Wprowadź morze Fermiego (o ile jest dobrym niezaburzonym stanem) ma dwupunktowe korelacje wolno zanikające z odległością, co wymaga dużego wymiaru wiązania sieci tensorowej, ale energia, która jest lokalną obserwabłą, powinna się szybko uzbieżniać wraz z rosnącym wymiarem wiązania. W sytuacji gdy subtelne szczegóły diagramu fazowego mogą mieć znaczenie dla przewidywań, taki dodatkowy numeryczny wysiłek mógłby być uzasadniony.
- 3) Inny problem związany z przybliżeniem perturbacyjnym (4.27) i jego lokalnym uogólnieniem (4.28) to zakres jego stosowalności. Czy można przytoczyć jakąś argumentację, która określałaby w jakim obszarze parametrów można polegać na tej metodzie? Na przykład czy wymaga to małej/dużej gęstości lub gęstości pomnożonej przez siłę oddziaływania lub jakiegokolwiek innego parametru? Brakuje mi tej dyskusji, chociaż doceniam bardzo pomysłowe podejście do problemu.

Będę wdzięczny za ustosunkowanie się do powyższych pytań i komentarzy, ale muszę podkreślić, że ich ilość nie ma na celu umniejszenia mojej wysokiej oceny prezentowanej pracy, a wręcz przeciwnie jest wyrazem żywego zainteresowania.

Świetna rozprawa doktorska pana magistra Macieja Marciniaka spełnia wszystkie wymagania stawiane tego typu pracom, co pozwala mi wnioskować o dopuszczenie pana Marciniaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z poważaniem,

Jacek Dziarmaga

Electronically signed by
Jacek Piotr Dziarmaga
09.08.2025
11:31:20 +02'00'



Center for Theoretical Physics

Polish Academy of Sciences

Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warsaw

Tel. (+48 22) 847 09 20, Fax/Tel: (+48 22) 843 13 69

E-mail: cft@cft.edu.pl, NIP: 525-000-92-81, REGON: 000844815

Konkluzja recenzji rozprawy doktorskiej
(Conclusion of dissertation review)

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

Tytuł rozprawy (Dissertation title):

Maciej Marciniak

Autor rozprawy (Author of the dissertation):

Pozytywna ocena (Positive conclusion):



Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa spełnia wszystkie wymagania ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania doktorskiego, uwzględniając publiczną obronę.

(I conclude that the presented dissertation meets the formal and customary requirements for doctoral dissertations and I recommend its admission to subsequent stages of the procedure, including the public defense.)*



Ocena negatywna (negative conclusion)

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa nie spełnia wszystkich wymagań ustawowych i zwyczajowych stawianych rozprawom doktorskim i dlatego nie rekomenduję dopuszczenia jej do dalszych etapów postępowania doktorskiego.

(I conclude that the presented dissertation does not meet the formal and customary requirements for doctoral dissertations and therefore I do not recommend its admission to subsequent stages of the doctoral procedure.)*

Uzasadnienie powyższej oceny znajduje się w raporcie będącym załącznikiem 1.

(The justification of the above assessment can be found in the detailed report in the attachment 1.)

.....
Data i podpis
(Date and signature)

Electronically signed by
Jacek Piotr Dziarmaga
14.08.2025
9:40:25 +02'00'

Załącznik 1: Recenzja rozprawy doktorskiej

(Attachment 1: Review of the dissertation)

***Zaznacz ocenę (Please tick the box with your conclusion)**