

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

Kraków, 3 listopada 2020

Ocena rozprawy doktorskiej pana magistra Jacka Dobrzynieckiego pt.
Tunelowanie kilku oddziałujących ultrazimnych atomów do otwartej przestrzeni.

Przedstawiona rozprawa opisuje jednowymiarowy problem ucieczki kilku cząstek ze studni potencjału w wyniku tunelowania. Rozprawa jest niezwykle spójna tematycznie. Opiera się na dwóch publikacjach w Physical Review A oraz jednym eprincie złożonym do publikacji. Jest to mniej więcej połowa publikacji autora, które znalazłem w Google Scholar. Wszystkie one w ten czy inny sposób dotyczą kilku cząstek w pułapce, więc w zasadzie mogłyby zostać włączone do rozprawy z niewielką szkodą dla jej spójności.

Jak wiadomo proste eksperymenty -- takie jak te myślowe z jedną cząstką opisywane zazwyczaj w pierwszym rozdziale podręcznika mechaniki kwantowej -- jest zrobić trudniej niż te bardziej skomplikowane na zespołach statystycznych wielu cząstek. Komitet Noblowski docenił to nagradzając między innymi Serge Haroche'a czy Davida Winelanda. Punktem wyjścia dla tej rozprawy doktorskiej jest jeden z takich eksperymentów przeprowadzony w Heidelbergu w roku 2013. Ponieważ dotyczy on kilku oddziałujących cząstek, zawartość rozprawy doskonale pasowałyby do rozdziału drugiego owego podręcznika, zwłaszcza te jej fragmenty gdzie zależności obserwowane w symulacjach numerycznych są wyjaśniane przy pomocy prostych argumentów „na palcach” odwołujących się jedynie do korelacji lub parowania w stanie podstawowym, tudzież zasady zachowania energii. Przemawia za tym również klarowny styl całej rozprawy.

Jednak rozprawa nie poprzestaje na tak akademickim poziomie, ale również wnikliwie analizuje różne aspekty ważne dla prawdziwego eksperymentu. Dobrym przykładem jest rysunek 16 przedstawiający realistyczny potencjał, który dla dużych x zamiast osiągać stałą asymptotyczną wartość osiąga tam stałą siłę. Powoduje to pewne rozmycie wspomnianych wyżej wniosków opartych na zachowaniu energii. Praca nie ogranicza się jedynie do analizy prawdopodobieństw tunelowania indywidualnego bądź parami, ale przedstawia także rozkłady pędów cząstek, które uciekły z pułapki, co jest bezpośrednio mierzalne eksperymentalnie.

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

- 1) W tabeli 2.1 podane są parametry eksperymentu w Heidelbergu. Na tej podstawie oszacowałem (mam nadzieję, że poprawnie), że temperatura jest około 4 razy większa niż częstość podłużna pułapki. Tymczasem wszystkie obliczenia w rozprawie zakładają jako stan początkowy układu jego stan podstawowy. Czy

- uzyskane tak wyniki są użytecznymi przewidywaniami dla eksperymentu? Czy jest możliwe obniżenie temperatury poniżej częstotliwości pułapki?
- 2) Sądząc na podstawie rysunku 3(a) energie własne zostały uzyskane dla pełnego potencjału $V(x)$, gdyż w $g=0$ nie jest to spektrum oscylatora harmonicznego. Tymczasem dokładne spektrum dla potencjału $V(x)$ na rysunku 2 jest ciągłe, gdyż dla $4 < x < \infty$ cząstki są swobodne. Jakie przybliżenie zastosowano, aby zdefiniować dyskretne spektrum przedstawione na rysunku 3(a)? Jaka jest jakość tego przybliżenia?
 - 3) W rozdziale 3.2 jest mowa o otwarciu studni w $t=0$. Jeśli dobrze zrozumiałem, jest to nagłe otwarcie w $t=0$, czyli funkcja schodkowa w czasie. Jak wiadomo, transformata Fouriera funkcji schodkowej ma spektrum zanikające zaledwie jak odwrotność częstotliwości, więc ta nagła zmiana w zasadzie może wzbudzić dowolnie wysokie poziomy energetyczne, a w szczególności te które leżą powyżej bariery potencjału pod która cząstki miałyby tunelować. Czy doktorant próbował otwierać studnię potencjału w sposób wygładzony na pewnej skali czasu, co obciąłoby spektrum wspomnianej transformaty Fouriera dla częstotliwości powyżej odwrotności tej skali czasu?
 - 4) Zakładam, że wzór (3.2) opisuje efektywny potencjał oddziaływań atomów rydbergowskich w 3 wymiarach przestrzennych. Czy efektywny potencjał nadal wygląda tak samo, gdy te atomy zostaną umieszczone w kwazi-jednowymiarowej pułapce? Jak to zależy od zasięgu w ? Jakie są realistyczne proporcje pomiędzy zasięgiem w a poprzeczną szerokością pułapki?

Będę wdzięczny za ustosunkowanie się do powyższych pytań i komentarzy, ale muszę podkreślić, że ich krytyczny często charakter nie umniejsza mojej wysokiej oceny prezentowanej pracy.

Rozprawa została napisana starannie, chociaż autor nie ustrzegł się drobnych błędów edytorskich. Na przykład w równaniach (3.5...3.7) brakuje czynnika w porównaniu z równaniem (3.4), a także r jest używane naprzemiennie z x . Na początku rozdziału 4 można było wyraźnie zaznaczyć, że rzecz dotyczy fermionów bez spinu, co może być oczywiste dla badaczy zimnych atomów, ale nie dla szerszej publiczności. Takie potknięcia są jednak bardzo rzadkie i nie mają żadnego wpływu na ocenę rozprawy, która na tle innych prac doktorskich zdecydowanie wyróżnia się przejrzystością prezentacji i logiczną jasnością wywodu.

W świetle obowiązujących obecnie przepisów wyróżnienie rozprawy można skutecznie zaproponować jedynie na etapie recenzji, chociaż właściwsze i bardziej taktowne byłoby odłożenie tej decyzji na dyskusję po obronie. Moim zdaniem świetna rozprawa doktorska pana magistra Jacka Dobrzynieckiego nie tylko spełnia wszystkie wymogi stawiane tego typu pracom, co pozwala mi wnioskować o dopuszczenie pana Dobrzynieckiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego, ale według mnie także potencjalnie zasługuje na wyróżnienie.

Z poważaniem,

prof. dr hab. Jacek Dziarmaga

