

Warszawa, 5 października 2009 r.

Prof. dr hab. Jan Mostowski
Instytut Fizyki PAN
Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej mgr Agnieszki Góreckiej pt. „Dynamika kondensatu Bosego-Einsteina w temperaturze różnej od zera”

Praca doktorska mgr Agnieszki Góreckiej liczy 74 strony, podzielona jest na 6 rozdziałów, spis literatury liczy 43 pozycje.

Praca poświęcona jest numerycznemu badaniu dwóch zjawisk dotyczących kondensatu Bosego-Einsteina. Oba były zaobserwowane w doświadczeniach Wolfganga Ketterlego i jak dotychczas żaden nie był właściwie zinterpretowany.

Pierwsze trzy rozdziały pracy mają charakter wstępny, zawierają ładny opis otrzymywania kondensatów atomowych oraz metod ich teoretycznego opisu. Warto zwrócić uwagę na paragraf o metodzie pól klasycznych, stosowanych w dalszej części pracy. Ta metoda opisu kondensatu, opracowana przez Kazimierza Rzążewskiego i Mariusza Gajdę, jest jedyną metodą pozwalającą na sensowny opis kondensatu Bosego-Einsteina w temperaturach różnych od zera.

Pierwsze zjawisko omawiane w recenzowanej pracy, w rozdziale 4, to tak zwana destylacja kondensatu. Polega ona na przepływności kondensatu z jednego, wyższego do drugiego niższego minimum pułapki ponad barierą potencjalną. Bariera jest na tyle wysoka, że nie jest możliwy bezpośredni przepływ atomów. Ponadto wysokość i szerokość bariery potencjalnej wykluczają znaczący udział tunelowania kwantowego w procesie. Destylacja, czyli przepływ ponad barierą, polega więc na wzbudzaniu atomów do wysokich stanów, ponad maksimum bariery, i następnie ich powrót do stanu podstawowego w głębszej pułapce. Należy tu jednak uwzględnić fakt, że nie jest to proces klasyczny. Jak słusznie zauważyła autorka, proces przypomina raczej fontannę helową. Ponadto atomy oddziałują ze sobą podczas całego procesu.

W pracy podany jest szczegółowy scenariusz procesu. Pierwszy punkt to opis sytuacji doświadczalnej. Autorka bardzo zadbała o to, by parametry jej symulacji były zbliżone do realnych wartości użytych w doświadczeniu. Następnie opisuje metodę numerycznego przygotowania stanu początkowego, poprzez ewolucję dość dowol-

nego stanu w czasie urojonym. Metoda to pozwala na uzyskanie dobrego przybliżenia stanu podstawowego z uwzględnieniem oddziaływań między atomami. Następnie omówione są wyniki symulacji dynamicznego procesu przepływu kondensatu do nowego minimum potencjału. Ta ewolucja wymaga zastosowania metody pól klasycznych, co autorka szczegółowo omówiła. Następnie przedstawiła uzyskane w swojej symulacji kolejne stadia przepływu, od początkowo powolnego wnikania, poprzez coraz większe obsadzenie nowego stanu podstawowego do ostatniego gwałtownego procesu obsadzania otoczenia głębszego minimum.

Wyniki tej części pracy zostały opublikowane w przez autorkę i promotora w *Physical Review A* w roku 2009.

Oceniając tę część pracy należy podkreślić, że jest to pierwsza analiza doświadczenia wykonanego już kilka lat temu, w roku 2004. Mimo gwałtownego rozwoju tej dziedziny fizyki, mimo pracy setek teoretyków, nikomu dotychczas nie udało się podać sensownego opisu zjawiska destylacji kondensatu. Pokazuje to z jednej strony na potęgę metody pól klasycznych, z drugiej na złożoność procesu. Jestem pełen podziwu dla determinacji autorki, która mimo wielu zawiłości omawianego procesu potrafiła doprowadzić do końca swoje symulacje.

Nie znaczy to, że opis zjawiska jest idealny. Autorka dokonała wielu uproszczeń, przede wszystkim ograniczyła się do jednego wymiaru. To uproszczenie, stosowane z powodzeniem w licznych pracach teoretycznych, wydaje się prowadzić jedynie do jakościowej zgodności z wynikami doświadczalnymi. Wyjaśnienie rozbieżności ilościowych, podane jest częściowo pod koniec rozdziału 4 i częściowo w rozdziale 6. Jest ono, jak sądzę właściwe, ale argumentacja nie jest do końca przekonująca.

Rozdział 5 poświęcony jest analizie innego zjawiska, mianowicie interferencji dwóch kondensatów. Ten rozdział też inspirowany jest doświadczeniami Ketterlego. W związku z zagadnieniem fazy kondensatu interferencja kondensatów była bardzo dokładnie opisywana, ale stosowano opis nieoddziałujących cząstek. W rzeczywistości oddziaływanie między atomami mają istotny wpływ na przebieg procesu.

Opis interferencji przedstawiony w pracy jest ideowo podobny do opisu destylacji. Najpierw generowany jest stan początkowy, za pomocą ewolucji dowolnego stanu w czasie urojonym. Następnie kondensat jest dzielony na dwie części, jedna z

nich uzyskuje dodatkową fazę. W kolejny kroku kondensaty nakładane są na siebie i interferują.

Autorka przedyskutowała bardzo szczegółowo interferencję kondensatów zachodzącą przy różnych parametrach, jakimi są szybkość łączenia kondensatów – od szybkiego (nagłego) do powolnego, adiabatycznego.

Jak pokazała autorka wypadkowa temperatura zależy od różnicy faz początkowych obu kondensatów, a zjawisko to można wykorzystać do pomiaru różnicy faz między kondensatami. Uważam to za bardzo ciekawy wynik.

Autorka stosuje jedną metodę do opisu obu omawianych w pracy procesów. Jest ona oparta na rozwiązywaniu równania Grossa-Pitajewskiego (nieliniowego równania Schroedingera) i uśrednianiu po zespole. To uśrednianie jest esencją metody pół klasycznych. Zastosowanie tej metody wymaga dużych i czasochłonnych obliczeń numerycznych nawet w przypadku ograniczonej liczby wymiarów. Autorka wykazała tu dużą biegłość.

Praca napisana jest bardzo przejrzysto. Na wstępie każdej części omówione są zjawiska, następnie założenia modelu, na końcu przedstawione są wyniki obliczeń numerycznych w postaci czytelnych wykresów.

Pracę pani mgr Agnieszki Góreckiej oceniam bardzo wysoko. Dotyczy ona niezwykle aktualnych zagadnień fizyki atomowej i fizyki statystycznej. Zastosowana metoda badawcza, czyli symulacja numeryczna, została wybrana nieprzypadkowo – jest to jedyna metoda pozwalająca na analizę złożonych zagadnień rozpatrywanych w pracy. Na uznanie zasługuje sposób przedstawienia wyników numerycznych, autorka doskonale panuje nad fizyczną interpretacją uzyskanych wyników.

Praca napisana jest poprawnym językiem, jedyną wadą jest przenoszenie wyrazów, dokonane automatycznie z pominięciem zasad pisowni.

Uważam, że praca doktorska pani mgr Agnieszki Góreckiej pt. „Dynamika kondensatu Bosego-Einsteina w temperaturze różnej od zera” spełnia wszelkie wymagania stawiane pracom doktorskim. Stawiam wniosek o dopuszczenie autorki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jan Mostowski