

Fluktuacje Kondensatu Bosego-Einsteina-kolejny krok

Chłodzenie rozrzedzonych gazów bozonów i fermionów do temperatur nanokelwinowych zainicjowało nową dziedzinę fizyki: fizykę gazów kwantowych. Jej najlepiej znanym zjawiskiem jest kondensacja Bosego-Einsteina. To przewidziane w 1924 roku zjawisko zrealizowano w 1995 roku. Rozrzedzony gaz bozonów, poniżej temperatury krytycznej zaczyna obsadzać stan podstawowy potencjału pułapkującego, który jest zwykle paraboliczny. Podczas, gdy w podręcznikach do opisu własności kondensatu stosuje się wielki zespół kanoniczny, to doświadczenie jest bliskie warunkom zespołu mikrokanonicznego, bo gaz ani nie wymienia ciepła, ani cząstek z otoczeniem. Tymczasem już Schrödinger zauważył, że własności statystyczne obsadzenia kondensatu zależą od wyboru zespołu statystycznego i są absurdalnie niefizyczne w opisie za pomocą wielkiego zespołu kanonicznego. W ostatnich 25 latach intensywnie badane są teoretycznie fluktuacje kondensatu. Od lat nasza grupa z powodzeniem uczestniczy w tych badaniach. Warto podkreślić, że nawet dla gazu doskonałego bardzo trudno obliczyć mikrokanoniczne fluktuacje dla doświadczalnie realistycznych, zawierających setki tysięcy atomów kondensatów. Od 3 lat udaje się mierzyć fluktuacje kondensatu. Robi to grupa Jana Arlta z Aarhus. Współpracujemy z tą grupą. Efektem są dwie wspólne prace opublikowane w Physical Review Letters. Wciąż istnieje problem, który nie doczekał się dotąd zadowalającego rozwiązania uwzględnienia oddziaływań. Część autorów twierdzi, że wariancja gazu oddziałującego jest większa niż gazu doskonałego. Inni twierdzą, że jest przeciwnie. W tym projekcie planujemy dokonanie znaczącego postępu w badaniu fluktuacji kondensatu. W naszych dotychczasowych pracach posługujemy się metodami Monte Carlo. Podaliśmy dwie metody generowania zbioru punktów w odpowiednio zdefiniowanej przestrzeni za pomocą algorytmu Metropolis'a. W obu metodach generujemy model zespołu kanonicznego. Postselekcja, ograniczenie zbioru punktów do pojedynczej energii, tworzy reprezentację zespołu mikrokanonicznego. Pierwsza metoda, oparta na przybliżeniu pól klasycznych poprawnie uwzględnia modyfikację funkcji falowej kondensatu spowodowaną oddziaływaniem w przypadku pułapki harmoniczej. Podobnie jak klasyczna elektrodynamika prowadziła do ultrafioletowej rozbieżności dla promieniowania ciała doskonale czarnego taka rozbieżność występuje także w naszym przypadku. Zbliżone do poprawnych wyniki otrzymuje się dobierając odpowiedni parametr obciążenia. Jest więc konieczność posługiwania się parametrem dopasowania. To oczywista słabość. Nasza najnowsza metoda, Fock states sampling method, przywraca atomom ich korpuskularny charakter, eliminując rozbieżność w nadfiolecie, tak jak Plancka idea kwantów światła uleczyła promieniowanie ciała doskonale czarnego. Metoda jest bardzo dobra do uwzględnienia oddziaływań dla gazu zamkniętego w pudle. Gorzej w pułapce harmoniczej, w której oddziałujący kondensat ma zmodyfikowaną funkcję falową. Głównym celem tego projektu jest konstrukcja nowej metody Monte Carlo, która będzie miała zalety obu naszych metod nie cierpiąc na żadną z ich wad. Nowa metoda, dostosowana do pułapek harmoniczych, składa się z dwóch kroków. W pierwszym, za pomocą pól klasycznych znajdziemy nie tylko funkcję falową kondensatu, ale także dużą liczbę jednocząstkowych funkcji falowych, które razem tworzą bazę lepszą niż stany Focka do drugiego kroku. Polega on na użyciu tej nowej bazy do budowy algorytmu Metropolis'a identycznego ze stosowanym w Fock states sampling method. W ten sposób obliczymy wpływ odpychających oddziaływań na kanoniczne oraz mikrokanoniczne fluktuacje bozonów w pułapce harmoniczej. Procedura będzie bardzo złożona numerycznie. Jesteśmy przekonani, że będzie ona skuteczna w jednym wymiarze. Będzie poważnym osiągnięciem, jeśli w trzech wymiarach uda się opisać kondensat złożony ze 100 atomów. Zanim jednak przystąpimy do budowy nowej metody wstępnym krokiem będzie jednak ważny test naszej poprzedniej, opartej na stanach Focka metody. Obliczymy bowiem pochodzące od oddziaływania przesunięcie temperatury krytycznej dla kondensatu w trójwymiarowym pudle.