

Kwantowe punkty krytyczne zimnych gazów atomowych

dr hab. Bogdan Damski

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego

Przejścia fazowe dzielimy na klasyczne i kwantowe. Do najlepiej znanych klasycznych przejść fazowych należą przejścia cieczi ↔ ciała stałe ↔ para wodna w H_2O , ferromagnetyk ↔ paramagnetyk w żelazie i przejście λ w 4He . Te przejścia można wywołać zmieniając termodynamiczne parametry układu, takie jak temperatura lub ciśnienie.

Z kolei kwantowe przejścia fazowe można wywołać zmieniając zewnętrzne pole działające na układ. Tym polem może być na przykład pole magnetyczne działające na elektrony w ciałach stałych lub pole laserowe działające na atomy w pułapkach optycznych. W odróżnieniu od klasycznych przejść fazowych, kwantowe przejścia fazowe mogą zachodzić w temperaturze zera bezwzględnego.

Zarówno kwantowe jak i klasyczne przejścia fazowe były badane przez fizyków materii skondensowanej. Te badania dostarczyły cennych informacji na temat fizyki nadcieczy, nadprzewodników oraz różnych materiałów magnetycznych. Po spektakularnym stworzeniu silnie oddziałujących układów zimnych atomów, pojawiły się niedawno nowe możliwości badania kwantowych przejść fazowych. Zaproponowano bowiem, że stosunkowo łatwe do kontroli układy zimnych atomów można tak przygotować, aby symulowały one trudne do zbadania modele znane z fizyki materii skondensowanej.

Pomimo ogromnego entuzjazmu z jakim spotkały się te prace, eksperymentalny postęp w tych badaniach był do tej pory umiarkowany. Jednym z istotnych powodów takiego stanu rzeczy są problemy z pomiarem wielkości fizycznych charakteryzujących kwantowe przejścia fazowe w tych układach.

Celem tego projektu jest kompleksowe zbadanie zaproponowanej przez nas ostatnio metody wyznaczania punktów i wykładników krytycznych w zimnych gazach atomowych. Punkty krytyczne wskazują przy jakim polu zewnętrznym układ przechodzi z jednej fazy do drugiej. Wykładniki krytyczne określają jak szybko własności układu zmieniają się w okolicy punktu krytycznego. Metoda, którą zbadamy pozwala na wyznaczenie tych wielkości z obrazów rozkładu przestrzennego atomów. Takie obrazy są mierzone prawie we wszystkich eksperymentach z zimnymi atomami.

Naszym celem jest ustalenie z jaką dokładnością ta metoda pozwala na uzyskanie punktów i wykładników krytycznych w modelach typu Bosego-Hubbarda, czyli w najprostszych silnie oddziałujących układach, jakie można badać przy użyciu zimnych gazów atomowych. Realizacja tego celu powinna istotnie przyczynić się do postępu w ilościowych badaniach kwantowych przejść fazowych.

Jest to ważne, ponieważ badania kwantowych przejść fazowych dostarczają fundamentalnego wglądu w fizykę najbardziej skomplikowanych układów kwantowych jakie znamy. Mają one też wielki wpływ na zrozumienie własności ważnych materiałów, takich jak nadprzewodniki wysokotemperaturowe. Jedną z głównych przeszkód w ich realizacji jest brak możliwości wydajnego rozwiązywania modeli teoretycznych opisujących silnie oddziałujące układy. Taką możliwość oferują zimne gazy atomowe, a badania zaproponowane w tym projekcie przybliżają fizyków istotnie do jej realizacji. Stanowi to motywację do podjęcia badań zaproponowanych w tym projekcie.