

Korelacje dwuciałowe w układach kilku ultrazimnych atomów o różnych masach

Wszystkie znane nam cząstki można podzielić na dwie bardzo ogólne rodziny: fermiony, z których zbudowana jest materia (np. elektrony, miony) i bozony, które przenoszą oddziaływania (fotony, bozon Higgsa). Rodziny te odróżnia tzw. spin, czyli wewnętrzny moment pędu cząstki, nie posiadający swojego odpowiednika w świecie klasycznym. Z głębokich rozważań teoretycznych wynika, że bozony obdarzone są spinem całkowitym (0, 1, 2, ...), a fermiony mają spin połowkowy (1/2, 3/2, ...). Własności tych dwóch typów cząstek zasadniczo różnią się od siebie. Wynika to bezpośrednio z faktu, że dwa fermiony, w odróżnieniu od bozonów, nie mogą znajdować się w tym samym stanie kwantowym. Fakt ten, znany jako zakaz Pauliego, jest fundamentem teorii wiązań atomowych i budowy molekuł. Ponieważ bozony nie podlegają zakazowi Pauliego, wiele z nich może znajdować się w tym samym stanie kwantowym. Obserwacja ta jest podstawą teoretyczną budowy lasera.

Na poziomie fundamentalnym cała materia składa się z fermionów, jednak w naturalnych warunkach tworzą one stabilne atomy, które składają się z protonów, neutronów oraz elektronów. W zależności od rozważanego izotopu atomu, całkowita liczba wszystkich fermionów w atomie może być parzysta lub nieparzysta. Jeżeli jest parzysta, to całkowity spin atomu (suma spinów wszystkich tworzących go fermionów) jest również liczbą całkowitą i atom traktowany jako całość jest bozonem. Jeśli liczba fermionów tworzących atom jest nieparzysta to cały atom ma własności fermionowe. Ta obserwacja oznacza, że w warunkach, w których atomy są stabilne materia może mieć również bozonowe składniki.

Wielkim osiągnięciem technik doświadczalnych końca XX wieku było opracowanie metod przetrzymywania i ochładzania atomów do temperatur mniejszych niż milionowa część stopnia powyżej zera absolutnego. Dzięki temu możliwe stało się precyzyjne kontrolowanie układów ultrazimnych atomów i badanie ich własności w warunkach, w których objawiają się ich własności kwantowe. Pierwsze otrzymanie w roku 1995 tzw. kondensatu Bosego-Einsteina – stanu materii, w którym makroskopowa liczba bozonów znajduje się w tym samym, energetycznie najniższym, stanie kwantowym, zrewolucjonizowało rozwój fizyki atomowej. Doświadczenia ostatnich lat pokazały, że możliwe jest również schładzanie i badanie różnych mieszanin atomów bozonowych i fermionowych (o tych samych, jak i różnych masach), efektywne wytwarzanie układów dwu- lub jednowymiarowych, a także kontrolowanie wzajemnego oddziaływania pomiędzy atomami w całym zakresie, tzn. od bardzo mocno odpychającego, poprzez zupełnie nieoddziałujące, aż do silnie przyciągającego. Te doświadczalne możliwości sprawiają, że temat ten jest niezwykle interesujący z punktu widzenia teoretycznego. Możliwe jest bowiem eksperymentalne przygotowywanie układów kwantowych opisywanych bardzo prostymi modelami teoretycznymi.

Dużym wyzwaniem doświadczalnym dla fizyków było przygotowanie ultrazimnego układu złożonego z dobrze określonej, niewielkiej liczby cząstek. Stało się to możliwe dzięki bardzo dokładnemu kontrolowaniu pola magnetycznego oraz profilu wiązki laserowej, za pomocą których modyfikowany jest kształt pułapki, w której uwięzione są atomy. Dostosowując odpowiednio profil pułapki można sprawić, że większość fermionów z niej ucieknie, a zostanie jedynie kilka tych o najmniejszej energii, na których można później prowadzić dalsze eksperymenty. Warto wspomnieć, że w najnowszych badaniach coraz częściej używane są specjalne detektory, umożliwiające fotografowanie pojedynczych atomów. Powyższe zdobycze techniki sprawiają, że można bezpośrednio porównywać badany układ kilku silnie oddziałujących fermionów z modelami teoretycznymi.

Proponowany projekt badawczy ma charakter teoretyczny, ale jest inspirowany najbardziej aktualnymi doświadczeniami w dziedzinie ultrazimnych gazów. Zasadniczym jego celem jest próba zrozumienia jak własności układów wielociałowych objawiają w układach z niewielką liczbą cząstek. Głównym obszarem badań będą mieszaniny niewielkiej liczby fermionów o różnej masie, umieszczone w jednowymiarowych pułapkach o różnym kształcie. Problematyka projektu wpisuje się zatem w zyskującą ostatnio na znaczeniu tematykę konstruowania pomostu pomiędzy fizyką dwóch i trzech ciał, a fizyką makroskopową.