

## **Defekty Topologiczne oraz Rozwiązania Samozwiązane w Mieszaninach Ultrazimnych Gazów Bosego i Fermiego przy Zastosowaniu Teorii Funkcjonału Gęstości**

Od czasów odkrycia mechaniki kwantowej wiemy, że fizyka na małych skalach odległości lub dużych skalach energii rządzi się innymi prawami niż te, które znamy z codziennej interakcji ze światem zewnętrznym. Fizyka pojedynczych atomów jest bogatsza i mniej intuicyjna niż fizyka obiektów makroskopowych. Na przykład cząstki dzielą się na dwa rodzaje: bozony i fermiony, co ma zasadniczy wpływ na ich właściwości.

Nie mniej jednak, jak zostało przewidziane przez A. Einsteina, gaz bozonów może ujawniać w bardzo niskich temperaturach kolektywne właściwości rządzone pojedynczą funkcją falową. Tak się dzieje, bo w niskich temperaturach prawie wszystkie bozony okupują ten sam stan kwantowy, co powinno pozwolić na obserwację efektów kwantowych w laboratorium.

Od czasu doświadczalnej realizacji kondensatu Bosego-Einsteina w 1995 r., stało się możliwe badanie kwantowych efektów w ultrazimnych gazach atomowych, i powstała nowa gałąź badań: badania ultrazimnych gazów atomowych. Od tego czasu techniki eksperymentalne rozwinęły się tak bardzo, że teraz możemy projektować układy kwantowe pułapkując gazy atomowe w pułapkach optycznych często mających formę sieci o pożądanej topologii. To pozwoliło na doświadczenia z modelowymi, prostymi układami oraz testowanie wyników teoretycznych dla bardziej skomplikowanych układów jak w materii skondensowanej.

Jednym z kwantowych efektów obecnych w zimnych gazach jest nadciekłość. To efekt, który objawia się jako brak tarcia gdy ciecz płynie przez naczynie. Został zaobserwowany w nadciekłym Helu i jest ściśle związany ze zjawiskiem nadprzewodnictwa elektronów w ciele stałym. W przypadku fermionów, mechanizm jest następujący: w niskich temperaturach fermiony o przeciwnych spinach i pędach tworzą pary, których rozmiar jest przeciętnie większy od średniej odległości pomiędzy cząsteczkami. Te pary są zwane parami Coopera i są odpowiedzialne za zjawisko nadciekłości w niskich temperaturach.

Jedną z niezwykłych cech układów nadciekłych jest występowanie defektów topologicznych: trwałych topologicznie obiektów, które nie mogą się łatwo rozpaść. Przykładem jest wir kwantowy, wir w nadciekłym przepływie scharakteryzowany skwantowaną cyrkulacją. Jeżeli fermiony o spinie w górę i w dół są w nierównych liczbach, to przewiduje się egzotyczną fazę nadciekłą, którą charakteryzują przestrzenne oscylacje. Niemniej jednak nie została ona dotychczas zaobserwowana. Innym interesującym obiektem jest kropla kwantowa: analog kropli cieczy takiej jak woda. Charakteryzuje się stałą gęstością wewnątrz i napięciem powierzchniowym. Pokazano, że takie fascynujące obiekty mogą istnieć w Kondensacie Bosego-Einsteina.

Wszystkie te obiekty były intensywnie badane w układach nadciekłych bozonów i fermionów. W tym projekcie zamierzam zbadać własności nadciekłych mieszanin, w których gazy Bosego i Fermiego współistnieją. Jak obecność drugiego składnika wpływa na właściwości defektów? Czy stan związany w formie kropli jest możliwy? Chciałbym poznać odpowiedzi na te pytania.

W tym celu, zamierzam użyć potężnej metody znanej z fizyki materii skondensowanej, nazwanej Teorią Funkcjonału Gęstości, która została zaadoptowana na potrzeby układów nadciekłych. Tym razem jednak chciałbym jej użyć do mieszaniny bozonów i fermionów i sprawdzić czy obecność obu gazów wpływa na istnienie i stabilność defektów topologicznych i kropli. Chciałbym zobaczyć czy jest możliwe wzmocnić niejednorodny stan nadciekły w niezbalansowanych gazach Fermiego, co mogłoby prowadzić do jego obserwacji. Ten projekt powinien zwiększyć nasze zrozumienie zjawiska nadciekłości w gazach kwantowych.