

Dynamiczna niestabilność Stonera

Zjawiska magnetyczne odgrywają znaczną rolę zarówno w życiu codziennym, jak i świecie nauki. Decydują one o właściwościach wszelakich obiektów, poczynając od silników elektrycznych i odtwarzaczy muzycznych, a kończąc na ciekłym helu i materii kwarkowej wewnątrz gwiazd neutronowych. Wewnątrz tzw. ferromagnetyków *wędrownych*, takich jak żelazo czy nikiel, spiny elektronów organizują się w jednym kierunku, tworząc stan o niezerowej magnetyzacji, jednak elektrony te nie są zlokalizowane. Ich funkcje falowe w znacznym stopniu się przekrywają, analogicznie do elektronów odpowiedzialnych za przewodnictwo.

W erze fizyki klasycznej, zjawisko ferromagnetyzmu umykało satysfakcjonującemu wyjaśnieniu. Dopiero narodziny mechaniki kwantowej przyniosły rozwiązanie w postaci opisu w języku spinów, oddziaływania wymiany i zakazu Pauliego. Stanowiło to wielkie zwycięstwo ówczesnych fizyków, jednak okazało się ono pyrrusowe – nowo powstała teoria nie była w stanie opisać rzeczywistych materiałów. Z jednej strony uproszczone modele były niewystarczające dla skomplikowanych układów, a z drugiej – środki obliczeniowe pozwalające na analizę silnie skorelowanych atomów jeszcze nie powstały.

Jednakże te proste metody okazały się doskonałymi narzędziami do opisu eksperymentów, które zaczęły być przeprowadzane po 1995 roku, gdy wyprodukowano ultrazimne gazy kwantowe po raz pierwszy w historii. W tego typu doświadczeniach elektrony ustępują miejsca rozrzedzonym, swobodnym fermionom, które oddziałują tylko poprzez proste zderzenia. Gdy takie odpychanie staje się wystarczająco silne, atomy o przeciwnych spinach zaczynają się segregować, tworząc struktury magnetyczne.

To zjawisko, zwane niestabilnością Stonera nie tylko zostało przewidziane teoretycznie, ale też zostało zrealizowane doświadczalnie. Pomimo pewnych wątpliwości, co do interpretacji tych eksperymentów, badania tego typu stanowią poligon doświadczalny dla analiz bardziej skomplikowanych zjawisk, takich jak makroskopowe magnesy czy wysokotemperaturowe nadprzewodniki.

W ostatnich latach, nasza grupa badawcza umocniła swoją pozycję w awangardzie teoretycznych wysiłków w tej dziedzinie. W niniejszym wniosku proponujemy badania, które popchną do przodu naszą wiedzę o niestabilności Stonera i pozwolą na dotrzymanie tempa grupom doświadczalnym. Analizy przez nas podjęte dotyczyć będą następujących problemów.

(i) Istnienie ferromagnetycznego przejścia w dwuwymiarowym odpychającym gazie Fermiego

Ostatnie badania, zarówno eksperymentalne, jak i teoretyczne, w stosunkowo przekonujący sposób dowiodły istnienia przejścia od fazy para- do ferromagnetycznej w trójwymiarowym gazie fermionowym. Jednakże kwestia zachodzenia takiego przejścia w gazie dwuwymiarowym jest kontrowersyjna – wcześniejsza literatura nie jest zgodna w tej kwestii. Część metod sugeruje jego istnienie, a część wręcz przeciwnie.

(ii) Przejście 2D-3D w kontekście niestabilności Stonera

Nie jest pewnym, czy przejście do fazy ferromagnetycznej zachodzi w układzie dwuwymiarowym, jednakże musi istnieć pewne ciągłe przejście pomiędzy sytuacją dwu-, a sytuacją trójwymiarową. Zamierzamy zbadać, w jaki sposób niestabilność zmienia się w trakcie takiego przejścia i jeśli znika – w jakim konkretnie punkcie.

(iii) Małe drgania gazu fermionowego w fazie ferromagnetycznej

Analiza częstości własnych jest podstawową procedurą przy badaniu własności większości obiektów. Nie inaczej było w przypadku odpychającego gazu fermionowego, jednakże wcześniejsze badania poddawały analizie tylko fazę paramagnetyczną. Nasza baza teoretyczna pozwala nam na obliczenie drgań własnych także w fazie ferromagnetycznej.

(iv) Niestabilność Stonera w gazie Fermiego atomów o różnych masach

Doświadczenia, w których badane są atomy o różnych masach mają przewagę nad eksperymentami, w których analizuje się atomy równomasowe – przeszkadzające parowanie spinów jest znacząco zredukowane. Jako że takie doświadczenia są w przygotowaniu, zamierzamy zbadać cechy charakterystyczne ferromagnetyzmu w takim układzie.

(v) Niestabilność Stonera w skończonej temperaturze

Skończona temperatura jest nieodzowną częścią każdego eksperymentu. Wprowadzając efekty termiczne do naszego opisu teoretycznego, możemy uzyskać pewne ilościowe zmiany naszych dotychczasowych wyników. Zmiany te mogą okazać się ważne z perspektywy doświadczeń.