

Nadprzewodzący półtorak

Piętnaście lat przed sformułowaniem mechaniki kwantowej Heike Kamerlingh-Onnes odkrył zjawisko nadprzewodnictwa, wykorzystując skroplony przez siebie hel do badania własności materii w temperaturze bliskiej bezwzględemu zeru. Minęło prawie sto lat, a to makroskopowe zjawisko kwantowe nie przestaje nas zaskakiwać.

Dzięki pracom Lwa Landaua i Witalija Ginzburga od połowy ubiegłego wieku wiadomo, że możliwe są dwa typy nadprzewodników. Pierwszy wykazuje efekt Meissnera: jest doskonałym diamagnetykiem. W zewnętrznym, niezbyt silnym polu magnetycznym wzbudzone są w takim nadprzewodniku prądy wirowe, które doskonale kompensują pole w jego wnętrzu. Pole magnetyczne nie wnika więc do takiego nadprzewodnika. Gdy jest zbyt silne, to nadprzewodnik przestaje nim być. Wszystkie nadprzewodniki znane w czasach, kiedy prace Landaua i Ginzburga powstawały, były właśnie tego typu. Zauważyli oni jednak, że gdyby pewien parametr κ , nazywany obecnie parametrem GL, mógł, dla jakiegoś nadprzewodnika, przyjąć wartość większą od $1/\sqrt{2}$, to nadprzewodnik taki mógłby wpuścić do swego wnętrza pole magnetyczne, nie przestając być nadprzewodnikiem. Parametr ten jest stosunkiem głębokości powierzchniowej penetracji nadprzewodnika przez pole magnetyczne do długości koherencji, wielkości charakteryzującej przestrzenne uporządkowanie funkcji falowej opisującej stan nadprzewodnictwa. Przy ogrzewaniu nadprzewodnika do temperatury krytycznej obydwie te parametry rosną nieograniczenie, ale ich stosunek pozostaje stały dla danego materiału nadprzewodzącego.

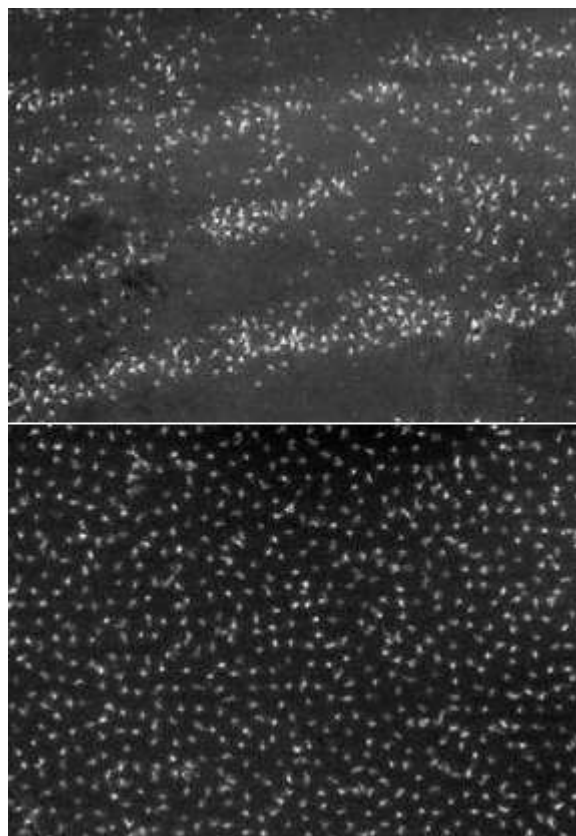
Uczeń Landaua, Aleksiej Abrikosow, wykazał, że drugi typ nadprzewodnictwa wiąże się z powstawaniem „wirów” zawierających pojedynczy kwant strumienia indukcji magnetycznej $h/2e$. W nadprzewodniku pierwszego typu takie worteksy też mogłyby powstać, ale dla $\kappa < 1/\sqrt{2}$ przyciągają się i w efekcie zlewają się, powodując wyjście ze stanu nadprzewodnictwa, natomiast dla $\kappa > 1/\sqrt{2}$ odpychają się i w efekcie tworzą regularną sieć, a nadprzewodzenie kończy się dopiero wtedy, gdy pole magnetyczne jest na tyle silne, że te wiry zaczynają się przekrywać.

Zjawisko nadprzewodnictwa jest rodzajem kondensacji Bosego-Einsteina. Kondensacja taka jest możliwa tylko dla obiektów (zwanymi bozonami), które „lubią” znajdować się wszystkie w tym samym stanie – w odróżnieniu od fermionów, z których żadne dwa nie mogą znajdować się w tym samym stanie (podlegają zakazowi Pauliego). Bozonami są np. fotony i to właśnie umożliwia akcję laserową, a fermionami są np. elektrony i dzięki temu mogą istnieć stabilne atomy różniące się własnościami chemicznymi, a nie jedynie masą.

O tym, czy dany obiekt jest fermionem czy bozonem, decyduje jego spin, czyli wewnętrzny moment pędu. Bozony mają spin całkowity, a fermiony połówkowy. Nadprzewodnictwo jest możliwe dzięki temu, że elektrony w niskiej temperaturze łączą się w pary, które mają sumaryczny spin całkowity, a więc są bozonami. Elektrony tworzące takie pary pochodzą zawsze z pasma przewodnictwa. Okazuje się, że istnieją materiały, takie jak diborek magnezu MgB_2 , w których w zjawisku nadprzewodnictwa uczestniczą elektrony z dwóch pasm przewodnictwa. Materiał taki charakteryzuje się dwoma parametrami uporządkowania, i to w dodatku na tyle różnymi, że odpowiadałyby one albo jednemu, albo drugiemu typowi nadprzewodnictwa. Okazało się, że odpowiadają obydwu. Pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego powstają w diborku magnezu worteksy, które wykazują krótkozasięgowe odpychanie, ale długozasięgowe przyciąganie. W rezultacie tworzą się w tym materiale agregaty albo pasma wirów, zamiast regularnej sieci [1]. Tym samym odkryto nowy rodzaj nadprzewodnika, który jako pośredni między typami jeden i dwa został nazwany typem jeden i pół. Otwiera się w ten sposób zupełnie nowy obszar badań oraz, prawdopodobnie, ciekawych zastosowań.

Piotr ZALEWSKI

- [1] V. Moshchalkov, M. Menghini, T. Nishio, Q. H. Chen, A. V. Silhanek, V. H. Dao, L. F. Chibotaru, N. D. Zhigadlo i J. Karpinski, *Phys. Rev. Lett.* **102** (2009) 117001.



Patetny worteksów magnetycznych w diborku magnezu MgB_2 – nowo odkrytym nadprzewodniku typu 1,5 (górną) oraz w diselenku niobu $NbSe_2$ – nadprzewodniku typu 2 (dół).