

Płynność nagród (dokończenie)

W 1933 roku Walter Meissner i Robert Ochsenfeld odkrywają kolejną zadziwiającą własność nadprzewodników. Okazuje się, że nie pozwalają one na wnikanie do nich pola magnetycznego. W obecności zewnętrznego pola w nadprzewodniku generowane są prądy, które całkowicie to pole kompensują. Zjawisko to jest nazywane *efektem Meissnera*.

W 1937 roku natomiast John F. Allen i Don Misener oraz niezależnie Piotr Kapica odkrywają następną niesamowitą własność ekstremalnie oziębionej materii. W temperaturze 2,17 K najbardziej rozpowszechniony izotop helu ^4He staje się nadciekły (termin wprowadzony przez Kapicę). Może poruszać się bez oporu, w szczególności penetrować kapilary niedostępne dla żadnego innego płynu. (Własność ta dotyczy tylko helu, gdyż w tak niskich temperaturach jest to jedyna substancja, która pozostaje w stanie ciekłym.)

Zjawisko to wyjaśnił najwybitniejszy uczeń Kapicy – Lew Landau, za co otrzymał Nagrodę Nobla z Fizyki w 1962 roku (Kapica też dostał tę nagrodę, ale dopiero w 1978 roku; niestety Allena i Misenera wtedy nie tylko pominięto, ale nawet nie wspomniano ich prac. . .). Landau jako pierwszy zrozumiał, że własności nadciekłego helu nie da się wyjaśnić, rozpatrując ruch pojedynczych atomów. W jego rozumowaniu punktem wyjścia jest stan podstawowy w temperaturze zera bezwzględego, którym jest kondensat Bosego-Einsteina. W miarę wzrostu temperatury energia przejawia się w postaci kwazicząstek (termin wprowadzony przez Landaua) – fononów, czyli kwantów fal dźwiękowych. Ponieważ długość fali fononów jest znacznie większa od odległości międzyatomowych (liczonych jako pierwiastek trzeciego stopnia z objętości podzielonej przez liczbę atomów w tej objętości), to ruch atomów nie wzbudza kolejnych fononów, a więc przebiega bez tarcia.

Landau nie poprzestał jednak na udowodnieniu, że nadciekłość helu jest przykładem kondensacji Bosego-Einsteina. Był w końcu jednym z najbardziej wszechstronnych fizyków. Wraz z Vitalijem Ginzburgiem napisał na początku lat pięćdziesiątych XX wieku serię prac, za które ten ostatni został właśnie uhonorowany Nagrodą Nobla. Prace te dotyczyły (wtedy) nadal niewyjaśnionego zjawiska nadprzewodnictwa. Punktem wyjścia była opracowana przez Landaua w 1937 roku teoria przemian fazowych II rodzaju. Przykładem takiej przemiany jest spontaniczne namagnesowanie ferromagnetyka poniżej temperatury Curie. W teoretycznym opisie takiej przemiany wprowadzany jest *parametr uporządkowania*, który opisuje np. stopień namagnesowania ferromagnetyka. W przypadku nadprzewodników Landauowi i Ginzburgowi zależało na podaniu ich opisu przy obecności zewnętrznego pola magnetycznego. Wiadomo było, że nadprzewodnictwo załamuje się, jeżeli wykazujący efekt Meissnera nadprzewodnik (nadprzewodnik I rodzaju) umieści się w zbyt silnym polu magnetycznym. Teoria Ginzburga-Landaua (GL) opisywała zachowanie nadprzewodników całkiem dobrze, ale nie była doceniona przez naukę zachodnią. Nie tylko dlatego, że była teorią

efektywną – nie wyjaśniała, jaki jest mikroskopowy mechanizm zjawiska nadprzewodnictwa – ale głównie z powodu ograniczonych kontaktów naukowych w tym okresie zimnej wojny. Powszechnie akceptowaną teorię nadprzewodnictwa, tzw. teorię BCS, stworzyli pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku panowie John Bardeen, Leon Cooper i Robert Schrieffer, a w 1972 roku otrzymali za nią Nagrodę Nobla z Fizyki. W teorii BCS nadprzewodnictwo tłumaczone jest jako kondensacja Bosego-Einsteina *par Coopera*, czyli par elektronów związanych wymianą fononów. Z tego uproszczonego opisu wynika, że jest to naprawdę skomplikowane zjawisko. Nic dziwnego, że trzeba było czekać aż pół wieku na jego wyjaśnienie.

Teoria BCS nie kończy jednak problemów z tłumaczeniem nadprzewodnictwa. Już Ginzburg i Landau dowiedli hipotetycznego istnienia nadprzewodników, do których pole magnetyczne może wnikać, tylko że wtedy takich materiałów jeszcze nie znano. Obecnie nazywamy je nadprzewodnikami II rodzaju. W 1952 roku Nikołaj Zawarickij (pisownia fonetyczna polska), pracujący w instytucie prowadzonym przez Kapicę, zaczął sprawdzać przewidywania teorii GL dla nadprzewodników w silnym polu magnetycznym. Okazało się, że teoria nie opisuje poprawnie obserwowanych prawidłowości (później okazało się, że również w ramach teorii BCS nie można ich wyjaśnić). Problem ten Zawarickij przedstawił swojemu koledze Aleksiejowi Abrikosowowi (tegorocznemu – 2003 – nobliście), który uporał się z nim modyfikując teorię GL. Kluczem do zrozumienia okazało się przyjęcie, że w nadprzewodnikach II rodzaju pole magnetyczne może istnieć wewnątrz wirów w *przestrzeni parametrów uporządkowania*. Całkowite załamanie się nadprzewodnictwa w takim nadprzewodniku zachodzi wtedy, gdy wiry te zaczynają się nakładać.

Ostatnim tegorocznym laureatem jest Anthony Leggett. Jemu zawdzięczamy wytłumaczenie nadciekłości izotopu helu ^3He . Atomy tej lekkiej odmiany helu są fermionami. Ich kondensacja Bosego-Einsteina, podobnie jak w przypadku nadprzewodnictwa, musi być poprzedzona tworzeniem par. Główną zasługą Leggetta było opisanie niezwykle bogatej struktury przestrzeni parametrów uporządkowania ^3He . Makroskopowym przejawem tej struktury jest powstawanie obserwowalnych wirów nadciekłej fazy.

Jak widać z tego telegraficznego skrótu, badanie własności materii w ekstremalnie niskich temperaturach było bardzo często doceniane przez Komitet Noblowski. Choć wymieniałem najwyżej połowę nagród przyznanych w tej dziedzinie, to i tak wielu pozostało nienagrodzonych. Od momentu powstania mechaniki kwantowej wiadomo, że tego typu badania są swoistym poligonem tej teorii. Alfred Nobel też powinien być zadowolony, bo nadciekłość, czy to w odniesieniu do „normalnego płynu”, jakim jest hel, czy w odniesieniu do gazu elektronowego znalazła wiele praktycznych zastosowań. Kilka z nich przypominamy na tylnej okładce.

Piotr ZALEWSKI