

Gdy magnetyzm i nadprzewodnictwo współpracują

Nadprzewodniki to materiały, które mogą przewodzić prąd elektryczny bez jakichkolwiek strat energii – właściwość ta otwiera drogę do przełomowych technologii, od niezwykle wydajnego przesyłu energii po zaawansowane urządzenia kwantowe. Większość znanych nadprzewodników działa jednak wyłącznie w bardzo niskich temperaturach i w ściśle kontrolowanych warunkach. Zrozumienie, dlaczego nadprzewodnictwo się pojawia oraz w jaki sposób można je kontrolować, pozostaje jednym z kluczowych wyzwań współczesnej fizyki.

Projekt ten koncentruje się na szczególnie intrygującym materiale: **CeRh₂As₂**, należącym do klasy tzw. nadprzewodników ciężkofermionowych. W tego typu materiałach elektrony zachowują się tak, jakby były setki razy cięższe niż zwykle, co wynika z bardzo silnych oddziaływań między nimi. Oddziaływania te prowadzą do powstawania egzotycznych stanów kwantowych, w których nadprzewodnictwo, magnetyzm oraz inne formy uporządkowania elektronowego konkurują ze sobą – lub, co bardziej zaskakujące, współdziałają.

Wyjątkowość CeRh₂As₂ polega na tym, że nie posiada on jednego, lecz **dwa stany nadprzewodzące**. Eksperymenty wykazały istnienie dwóch faz nadprzewodnictwa, pomiędzy którymi można przełączać się za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego. Co jeszcze bardziej zagadkowe, w pewnym zakresie temperatur nadprzewodnictwo może zanikać, a następnie ponownie się pojawiać wraz ze wzrostem pola magnetycznego. To rzadkie zjawisko znane jest jako *nadprzewodnictwo typu reentrant* i podważa tradycyjny pogląd, według którego magnetyzm i nadprzewodnictwo zawsze są zjawiskami anagonistycznymi.

Dodatkową zagadką jest tajemnicza faza niskotemperaturowa, znana także jako **faza T₀**, która pojawia się tuż powyżej przejścia do stanu nadprzewodzącego. Początkowo interpretowano ją jako subtelną, niemagnetyczną formę uporządkowania elektronowego. Coraz więcej danych eksperymentalnych wskazuje jednak, że faza ta ma charakter magnetyczny i może współistnieć z nadprzewodnictwem. Jeśli tak jest w rzeczywistości, oznaczałoby to konieczność rewizji długo utrzymywanych założeń oraz wskazywałoby na nowy mechanizm, w którym magnetyzm aktywnie kształtuje nadprzewodnictwo, zamiast je niszczyć.

Głównym celem projektu jest odkrycie mikroskopowego pochodzenia fazy T₀ oraz zrozumienie, w jaki sposób wpływa ona (lub być może nawet kontroluje) przełączanie pomiędzy różnymi stanami nadprzewodzącymi. W tym celu zostanie zastosowane połączenie kilku podejść badawczych. Po pierwsze, badane będą ultraczyste monokryształy CeRh₂As₂ w warunkach ekstremalnych: bardzo niskich temperatur i bardzo silnych pól magnetycznych, z wykorzystaniem zaawansowanych technik eksperymentalnych zdolnych do wykrywania nawet minimalnych sygnałów magnetycznych. Po drugie, CeRh₂As₂ zostanie porównany z blisko spokrewnionymi materiałami, co pozwoli określić, które cechy wśród nich są uniwersalne, a które unikatowe. Po trzecie, materiał będzie celowo modyfikowany poprzez podstawianie wybranych atomów, co ma umożliwić precyzyjne „strojenie” magnetyzmu i nadprzewodnictwa.

Poza rozwiązaniem konkretnej zagadki naukowej, badania te mają na celu weryfikację nowej hipotezy nadprzewodnictwa kontrolowanego przez magnetyzm. Tego rodzaju wiedza może w przyszłości umożliwić projektowanie materiałów, w których właściwości nadprzewodzące da się przełączać na żądanie – co jest długofalowym marzeniem technologii kwantowych i nowoczesnej energetyki. Jednocześnie projekt przyczyni się do rozwoju nowoczesnych technik wzrostu kryształów.

Ukazując, w jaki sposób złożone stany kwantowe wyłaniają się z silnie oddziałujących elektronów, projekt ten dotyka jednego z najbardziej fascynujących pytań współczesnej fizyki: **jak powstają nowe formy materii, gdy reguły świata kwantowego są doprowadzane do granic możliwości.**