

LATO Z HELEM
ODOLANÓW

XXXV Warsztaty Naukowe Lato z Helem

3 lipca 2019

„Porządek versus nieporządek: co to znaczy niska temperatura?”

dr Konrad J. Kapcia

**Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN Kraków
Zakład Komputerowych Badań Materiałowych**

Wykład rozpocznie się od omówienia problematyki dotyczącej podstawowej wielkości występującej w termodynamice (mechanice statystycznej) – temperatury. Wbrew pozorom jest to parametr fizyczny definiowany bardzo nieintuicyjnie. Co więcej temperatura jest dobrze określona tylko w stanach równowagowych, które występują w przyrodzie w bardzo szczególnych warunkach (jeśli w ogóle). Podczas wykładu spróbujemy sformułować definicję temperatury, zrozumieć jej sens oraz pokazać jej związek z innymi wielkościami fizycznymi takimi jak: ciepło, entropia i energia. Obecnie najniższe temperatury rzędu nanokelwinów, są otrzymywane w układach ultrazimnych gazów atomowych na sieciach optycznych, które stwarzają możliwości symulacji różnych układów (znanych z fizyki ciała stałego) z wysoce precyzyjną kontrolą oddziaływań występujących pomiędzy składnikami układu.

Zmiana temperatury, nawet w bardzo małym zakresie, może prowadzić do dramatycznej zmiany właściwości fizycznych układu. Proces taki nazywamy przemianą lub przejściem fazowym pomiędzy dwoma różnymi stanami materii. Okazuje się, że wszystkie występujące w przyrodzie przemiany możemy sklasyfikować w dwóch grupach: (i) przemian fazowych pierwszego rodzaju (przemiany nieciągłe) oraz (ii) przemian fazowych drugiego rodzaju (przemiany ciągłe). Te dwie grupy różnią się od siebie zachowaniem wielkości fizycznych w temperaturze przemiany, takich jak na przykład: entropia, ciepło właściwe, podatność lub parametr porządku. Przykładami takich przemian są: (a) procesy prowadzące do zmiany stanu skupienia: topnienie i krzepnięcie (krystalizacja) [przemiana lód (ciało stałe) - woda (ciecz)], parowanie i skraplanie – są to przemiany pierwszego rodzaju (nieciągłe) – czy też (b) przemiany zachodzące bez zmiany stanu skupienia: przemiana alotropowa, przemiana metal – nadprzewodnik, przemiana ferromagnetyk – paramagnetyk (są to zazwyczaj przemiany drugiego rodzaju). W teorii przemian fazowych szczególne miejsce zajmują hipotezy skalowania (wraz z wykładnikami krytycznymi) oraz uniwersalności (klasy uniwersalności).

W temperaturach bliskich zera bezwzględnego w niektórych materiałach (substancjach) może wystąpić przemiana do stanu nadprzewodzącego (nadciekłego). Powstawanie tych dwóch egzotycznych stanów materii jest przejawem działania praw fizyki kwantowej, a więc takich praw, które rządzą światem atomów i cząsteczek. Zjawisko nadprzewodnictwa jest związane z całkowitym zanikiem oporu elektrycznego (nieskończone przewodnictwo), natomiast nadciekłość objawia się całkowitym zanikiem lepkości cieczy. Mimo, że fenomeny te są intensywnie badane od wielu lat (oba zostały odkryte w pierwszej połowie XX wieku), wciąż stanowią nie w pełni rozwiązana zagadkę dla fizyków. Nadprzewodnictwo jest obserwowane w różnorodnych materiałach: niektórych pierwiastkach (na przykład w rtęci, cynie, ołowiu, niobie), stopach metali, ceramikach tlenkowych czy materiałach organicznych. Istotą stanu nadprzewodzącego jest powstawanie par nośników ładunku (pary Coopera). Pary takie mogą być tworzone przykładowo przez dwa elektrony posiadające energię bliską energii Fermiego nawet wtedy, gdy energia wiążącego je oddziaływania jest niezmiernie mała. Zmienia to właściwości elektryczne materiału, gdyż pojedyncze nośniki są fermionami, a połączone w pary wykazują pewne cechy bozonów, które mają inne właściwości i statystykę. Dla odmiany nadciekłość występuje tylko w jednej substancji – helu. Pomimo że mechanizm tego zjawiska dla dwóch izotopów helu jest zasadniczo różny, w obu przypadkach efekt makroskopowy jest taki sam – zanik lepkości. Atomy helu-4 są bozonami i ich nadciekłość może być tłumaczona powstaniem kondensatu Bosego-Einsteina, natomiast atomu helu-3 są fermionami i ich właściwości w stanie nadciekłym mogą być wyjaśnione za pomocą teorii podobnych jak w przypadku nadprzewodnictwa.

Z punktu widzenia potencjalnych zastosowań niezwykle obiecujące jest nadprzewodnictwo, które można wykorzystać przy przesyłaniu prądu bez strat czy też w lewitujących pociągach magnetycznych dużych prędkości.

Mam nadzieję, że po wysłuchaniu wykładu słuchacze będą umieli odpowiedzieć na następujące pytania:

1. Jak jest zdefiniowana temperatura?
2. Czym charakteryzują się przemiany fazowe?
3. Na czym polegają zjawiska nadprzewodnictwa i nadciekłości?
4. Jakie znaczenie ma termin „niska temperatura”?

Badania naukowe prelegenta w latach 2017 – 2020 są finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie w ramach projektu badawczego SONATINA pt. „Przemiany izolator-metal w układach silnie skorelowanych elektronów z oddziaływaniami dalszego zasięgu” (nr grantu UMO-2017/24/C/ST3/00276).