

# НАДПРОВІДНІСТЬ. ДОСЯГНЕННЯ Й ПЕРСПЕКТИВИ

Луцьов І. В.

Доцент кафедри фізики

Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

Надпровідність – властивість багатьох провідників, яка полягає в тому, що їх електричний опір стрибком падає до нуля при охолодженні нижче критичної температури  $T_k$ , яка є характерною для даного матеріалу.

В перше такий стан було виявлено у ртуті у 1911 році голландцем Камерлінг-Оннесом [1]. Значення критичної температури для ртуті складало 4,15 К. Однак, надпровідник не є просто ідеальним провідником. У 1933 році В. Мейснер і Р. Оксенфельд встановили, що слабке магнітне поле не проникає вглиб надпровідника, тобто він є також ідеальним діамагнетиком. При цьому сильне магнітне поле здатне розрушити стан надпровідності. Таким чином з'явилась друга характеристика надпровідника – критичне магнітне поле  $H_{кр}$ .

Відомо, що при передачі електроенергії по дротовим лініям на подолання електроопору дротів витрачається до 18 %, в сучасному світі, а під час відкриття надпровідності – ще більше. Тому дослідження надпровідності викликало велику цікавість в усьому світі.

Винайшли, що надпровідність мають багато металів, сплавів, інтерметалевих сполук, деякі напівпровідники й полімери. Серед металів найвищу  $T_k$  має ніобій (9,25 К), серед сплавів  $Nb_3Sn$  ( $T_k \approx 18,0$  К), а серед інтерметалідів –  $Nb_3Ge$  ( $T_k \approx 23,0$  К) [2]. Таким чином, щоб ввести зразок в надпровідний стан потрібно його охолодити до дуже низьких температур, які лежать в діапазоні температури кипіння рідкого гелію ( $\sim 4,2$  К) і температури кипіння рідкого водню ( $\sim 20,4$  К). Такі надпровідники назвали класичними. Очевидно, що їх широке використання є дуже коштовним і нетехнологічним.

Теоретичне пояснення надпровідного стану класичних надпровідників дає фононна теорія БКШ [3]. То є квантова теорія, оскільки вільним носієм електричного заряду в кристалі є куперівська пара – два електрони з антипаралельними спінами, які притягуються один до одного за рахунок обмінної взаємодії. Посередником такої взаємодії є фонон (квант теплових коливань атома кристалічної ґратки). Розмір куперівської пари може досягати 100 періодів кристалічної ґратки. Куперівська пара є бозоном, тому рух всіх пар узгоджений, що призводить до відсутності електроопору у надпровідника. Однак, ця теорія обмежує максимальну можливу критичну температуру величиною 40 К.

Але пошуки нових надпровідників тривали і у 1986 році Г. Беднорц і А. Мюллер винайшли надпровідний стан у складних оксидів зі структурою перовскітного типу в системі La-Ba-Cu-O ( $T_K \approx 30$  K) [4]. Трохи згодом були одержані матеріали з  $T_K \approx 90$  K в системі Y-Ba-Cu-O,  $T_K \approx 133$  K в системі Hg-Ba-Ca-Cu-O [5]. Ці матеріали об'єднали в групу високотемпературних надпровідників (ВТНП). Багато з цих матеріалів переходять в надпровідний стан вже при температурі кипіння рідкого азоту ( $\sim 77,4$  K). Високі критичні температури дуже здешевили використання ВТНП. Але, оскільки матеріал ВТНП – є керамікою, їх використання значно звужувалось за рахунок низької технологічності (наприклад, виготовлення дротів з керамічних матеріалів дуже складне, а дроти мають низьку пластичність, тому їх використання обмежено технічно й економічно).

Очевидним був факт, що існуюча теорія надпровідності БКШ була не в змозі пояснити ВТНП. Найбільш застосованою у випадку ВТНП є теорія, яка використовує екситонний механізм взаємодії електронів. Ця теорія краще пояснювала властивості ВТНП і не обмежувала існування високих критичних температур [6].

Останнім часом велику зацікавленість с точки зору надпровідності викликають високоентропійні сплави. Так сплав на основі кобальту ( $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.1}\text{Cu}_{0.1}\text{Rh}_{0.3}\text{Ir}_{0.3}\text{Zr}_2$ ) виявив надпровідний стан при охолодженні до 8 K [7], який зберігається до надзвичайно високих тисків.

Очікується, що високоентропійні сплави матимуть великі перспективи стосовно надпровідності в майбутньому.

1. . Роуз-Инс А. К., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. М.–1972.
2. . Физико-химия сверхпроводников. М. – 1976.
3. Физический энциклопедический словарь. М. – 1983.
4. Bednorz, J. G.; Müller, K. A. (1986-06-01). [Possible highTc superconductivity in the Ba–La–Cu–O system](#). *Zeitschrift für Physik B Condensed Matter* (en) **64** (2). с. 189–193.
5. Schilling, A.; Cantoni, M.; Guo, J. D.; Ott, H. R. (1993-05-06). [Superconductivity above 130 K in the Hg–Ba–Ca–Cu–O system](#). *Nature* (en) **363** (6424). с. 56–58.
6. В. Л. Гинзбург. (1968-05). Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. УФН (рус.) т. 95, вып. 1. с. 91–110.
7. <https://nangs.org/news/it/razrobotan-novy-y-sverhprovodnik-iz-vysokoentropiy-nogo-splava>.