

# ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗАМІЩЕННЯ АТОМІВ У АТОМАМИ Pr НА

## ПРОВІДНІСТЬ В $ab$ -ПЛОЩИНІ В СПОЛУЦІ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

**Мета роботи:** вивчення впливу домішок на флуктуаційні механізми провідності у площині шарів високотемпературних надпровідників

### 1.Короткі відомості про флуктуаційну провідність

Згідно з теорією БКШ існування надпровідного стану обмежено температурою 40 К. До 1974 року вдалося створити надпровідний матеріал  $Nb_3Ge$  з температурою переходу до надпровідного стану ( $T_C$ ) лише 23 К. Всі подальші зусилля створити матеріал з більшою  $T_C$  не мали успіху аж до 1986 року. Саме цього року Карл Мюллер и Георг Беднорц виявили, що  $T_C$  з'єднання  $La_{2-x}Ba_xCuO_4$  складає 35 К. За це досягнення їм в 1987 році була присуджена Нобелівська премія з фізики, а саме їх відкриття викликало наростаючу хвилю експериментів в усьому світі. Такий масовий штурм невідомого призвів до того, що вже через рік були виявлені речовини, які переходили в надпровідний стан за температури близької 100 К. Ці речовини стали називати високотемпературними надпровідниками (ВТНП).

Але будь-який прогрес має і негативні наслідки. Виявилося, що поведінка цих речовин має розбіжності з положеннями теорії БКШ не тільки відносно величини максимально можливої  $T_C$ , а і в ряді інших властивостей ВТНП. Необхідність подальшого вдосконалення фізичних уявлень про надпровідність вимагала більш ретельного дослідження властивостей ВТНП. Одним з методів експериментального дослідження природи ВТНП є отримання залежностей опору їх зразків від температури, величини й напрямку протікання електричного струму, прикладеного магнітного поля, структури і складу зразка. Складність отриманих експериментальних кривих потребує суттєвої математичної обробки отриманих результатів для розкриття процесів, якими визначається вид цих кривих. На рис.1 як приклад приведено декілька, отриманих при виконанні експериментальної частини лабораторної роботи, залежностей питомого опору сполуки  $Y_{1-Z}Pr_ZBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  з частковим заміщенням атомів Y атомами Pr.

Як видно з рис.1, нижче за деяку характерну температуру  $T^*$  залежності  $\rho_{ab}(T)$  «закруглюються», що вочевидь, може бути обумовлено виникненням надлишкової провідності, температурну залежність якої можна отримати за допомогою рівняння

$$\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0, \quad (1)$$

де  $\sigma_0 = \rho_0^{-1} = (A + BT)^{-1}$  – провідність, яка визначається екстраполяцією лінійної ділянки залежності у нульове значення температури, а  $\sigma = \rho^{-1}$  – експериментальне значення провідності, яка вимірюється у нормальному стані. З теорії [1] відомо, що поблизу  $T_C$  надлишкова провідність обумовлена процесами флуктуаційного парування

носіїв, внесок яких у провідність при  $T > T_C$  визначається степеневою залежністю виду:

$$\Delta\sigma = \left[ \frac{e^2}{16\hbar d} \right] \varepsilon^{-1} (1 + J\varepsilon^{-1})^{-1/2}, \quad (2)$$

$\varepsilon = (T - T_C)/T_C$  – приведена температура;  $T_C$  – критична температура в наближенні середнього поля;  $J = (2\xi_C(0)/d)^2$  – стала міжшарового парування;  $\xi_C$  – довжина когерентності уздовж вісі  $c$  і  $d$  – товщина двовимірного шару. В граничних ситуаціях (поблизу  $T_C$ , за умови  $\xi_C \gg d$  – взаємодія поміж флуктуаційними куперівськими парами реалізується у всьому об'ємі надпровідника – так званий 3D-режим (dimension) або подалі від  $T_C$  за умови  $\xi_C \ll d$  взаємодія можлива тільки у площинах провідних шарів – 2D-режим) вираз (2) перетворюється у відомі співвідношення для трьох- і двовимірних випадків.

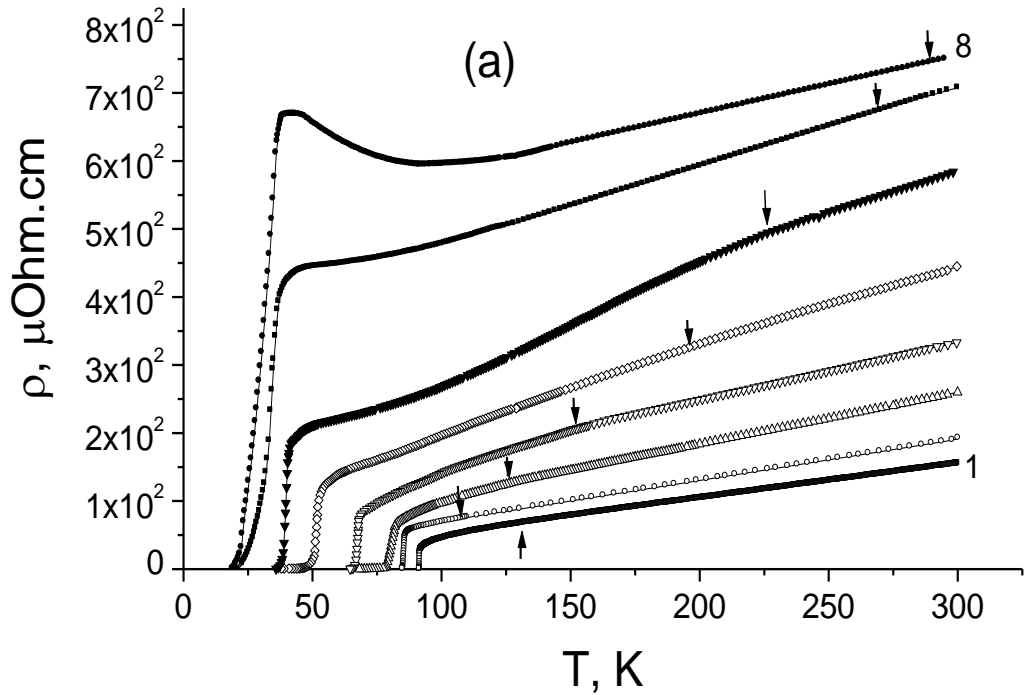


Рис. 1 Приклад температурної залежності питомого опору  $\rho_{ab}(T)$  в  $ab$ -площині зразків К1 - К8 монокристалів з різним вмістом празеодиму  $z$ : 1 – 0.0, 2 – 0.05, 3 – 0.19, 4 – 0.23, 5 – 0.34, 6 – 0.43, 7 – 0.48, 8 – 0.5. Стрілками позначено температури переходу в псевдошлілинний стан  $T^*$ .

$$\Delta\sigma_{2D} = \frac{e^2}{16\hbar d} \varepsilon^{-1}, \quad (3)$$

$$\Delta\sigma_{3D} = \frac{e^2}{32\xi_C(0)} \varepsilon^{-1/2}, \quad (4)$$

де  $T_C$  визначається у точці максимуму на залежностях  $d\rho_{ab}(T)/dT$  в області надпровідного переходу.

Температурні залежності  $\Delta\sigma(T)$  в координатах  $\ln\Delta\sigma - \ln\varepsilon$  поблизу  $T_c$  за звичай задовільно апроксимуються прямими з кутом нахилу  $\text{tg}\alpha_1 \approx -0.5$ , що відповідає показнику степені  $-1/2$  в рівнянні (4), що вочевидь свідчить про трьохвимірний характер флуктуаційної надпровідності у цьому температурному інтервалі. При подальшому збільшенні температури швидкість зменшення  $\ln\Delta\sigma$  суттєво зростає, що, у свою чергу, можливо розглядати як вказівку на змінення вимірності флуктуаційної провідності.

Як витікає з (3) і (4) існує деяка температура, за якої 3D-режим і 2D-режим співіснують з рівною вирогідністю (так званий 3D - 2D кросовер) і в цієї точці кросовера:

$$\xi_c(0)\varepsilon_0^{-1/2} = d/2. \quad (5)$$

У цьому випадку, визначивши значення  $\varepsilon_0$  і користуючись літературними даними про залежність міжшарової відстані від  $\delta$  ( $d \approx 11.7$  Å), можливо розрахувати значення  $\xi_c(0)$ .

## **2. Експериментальна установка та методика отримання**

### **залежностей $\rho(T)$**

Для отримання залежностей  $\rho(T)$  використовується чотирьох контактна методика. Загальний вигляд комірки показаний на рис. 2 справа. Вимірювальна комірка розташована на штоці, який має герметичний затвор. Температура, яка встановиться у вимірювальній комірці, залежить від інтенсивності випаровування рідкого азоту крізь внутрішній простір комірки. Змінюючи струм крізь нагрівач розташований на дні транспортного д'юару, будемо змінювати інтенсивність випаровування рідкого азоту, або швидкість охолодження комірки з вмонтованим зразком.

На Рис. 3 показано принципову схему електричних з'єднань вимірювальної установки. Як бачимо, напруги на термометрі, зразку і на відповідних еталонних резисторах постійно вимірюються відповідними вольтметрами. Значення виміряних величин у цифровій формі через інтерфейс надходять до комп'ютера і у відповідності з його програмою запам'ятовуються в окремий файл.

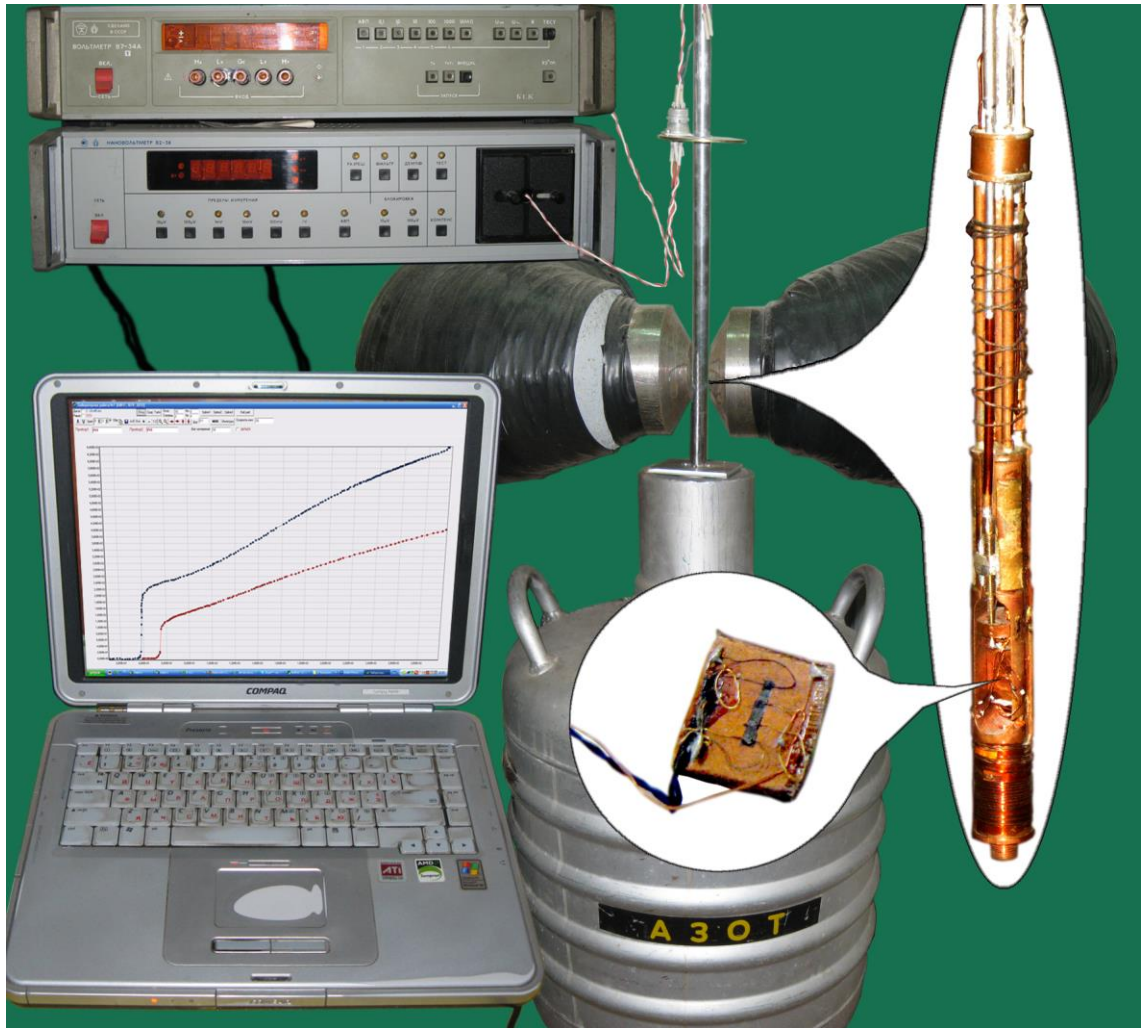


Рис.2. Екранне запрошення до лабораторної роботи з елементами обладнання.

### 3.Порядок виконання роботи

- 1.Включити вольтметри, джерела живлення і комп'ютер.
- 2.Шляхом регулювання струму нагрівача встановити швидкість охолодження біля 1 К/мін (швидкість випаровування додатково регулюється клапаном на затворі).
- 3.Запустити програму автоматичного отримання електрорезистивних даних про зразок.
- 4.Після вимірювання в діапазоні температур  $80 \div 300\text{K}$  отримані дані перенести до комп'ютера з програмою математичної обробки даних "ORIGIN"

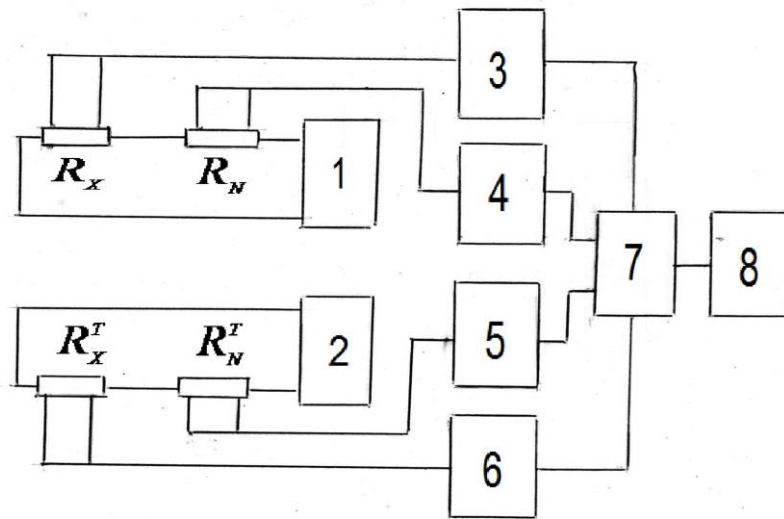


Рис.3 . Блок-схема вимірювальної частини устаткування. 1 – блок живлення контура зразка; 2 – блок живлення контура термометра; 3, 4, 5, 6 – вольтметри В2-38; 7 – інтерфейс IEEE-488 – RS232; 8 – персональний комп’ютер.

#### 4.Порядок обробки даних

- 1.Побудувати залежності  $\rho(T)$  для усіх концентрацій празеодиму.
- 2.Для всіх концентрацій знайти надлишкову провідність в області температур  $T > T_C$  і побудувати її температурну залежність в координатах  $\ln \Delta \sigma - \ln \varepsilon$ .
- 3.Провести апроксимацію отриманих залежностей прямими з кутами нахилу  $\text{tg} \alpha_1 \approx -0.5$  і  $\text{tg} \alpha_2 \approx -1.0$ .
- 4.За даними апроксимації знайти  $\varepsilon_0$  і за формулою (5) розрахувати  $\xi_c(0)$  для всіх концентрацій празеодиму.

### **Рекомендована література**

1. Л.Г. Асламазов, А.И. Ларкин. / Влияние флуктуаций на свойства сверхпроводников при температурах выше критической // ФТТ. -1968. -Т.10, №4. -С.1104-1111.