

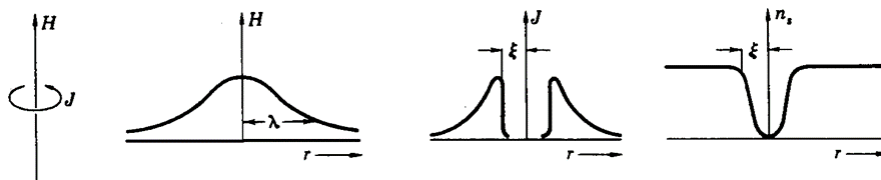
## Pracownia technik pomiarowych Inżynierii Nanostruktur Nadprzewodnik Wysokotemperaturowy.

Opracował A. Golnik 12.2014

Odkrycie nadprzewodników wysokotemperaturowych w 1986 roku pozwoliło na obserwację zjawiska nadprzewodnictwa w bardziej dostępnych temperaturach (powyżej temperatury wrzenia azotu).

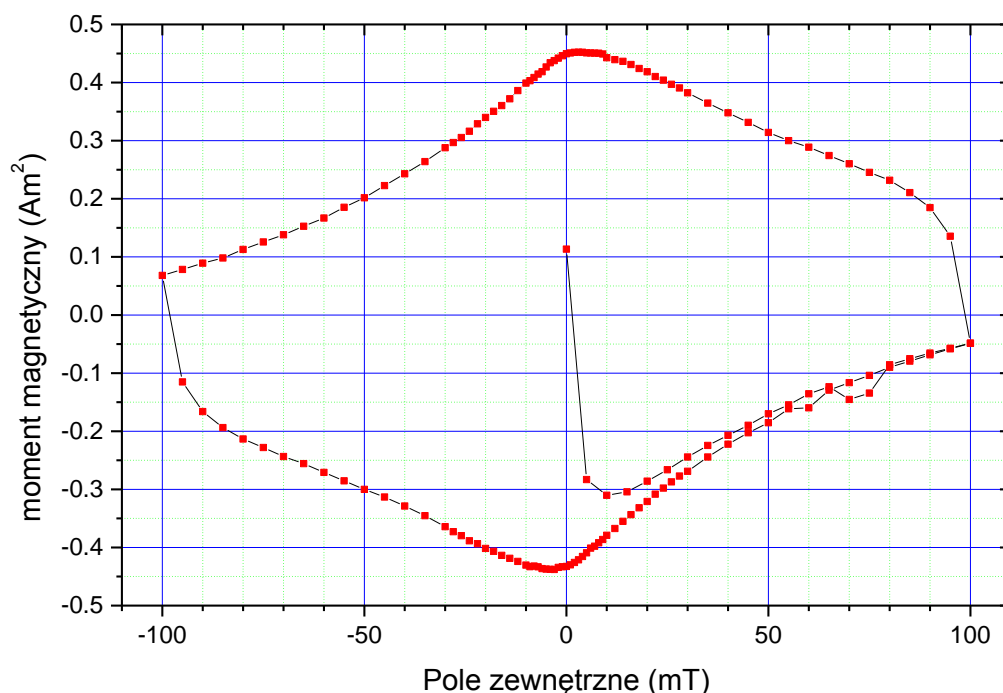
Występowanie zjawiska Meissnera (całkowite ekranowanie pola magnetycznego, idealny diamagnetyzm) implikuje niszczenie nadprzewodnictwa w silnych polach magnetycznych. W nadprzewodnikach II rodzaju niszczenie nie następuje od razu ale w przedziale między dolnym a górnym polem krytycznym obserwuje się stan mieszany w którym istnieje koegzystencja obszarów nadprzewodzących i specyficznie ukształtowanych obszarów o symetrii cylindrycznej zwanych wirami magnetycznymi bądź fluksonami.

Rdzeniem fluksonu jest obszar nie nadprzewodzący, zawierający pole magnetyczne, otoczony warstwą nadprzewodzącą, w której płynie wirowy prąd, który próbuje zaekranować pole magnetyczne z rdzenia. W sumie flukson niesie kwant strumienia pola magnetycznego.



Na fluksony przy płynącym prądzie będzie działała siła Lorentza i gdyby ich nie zaczepiać to ruch fluksonów powodowałby wykonanie pracy, czyli efektywnie pojawienie się oporu elektrycznego. Centrami zaczepiającymi fluksony mogą być defekty lub granice ziaren.

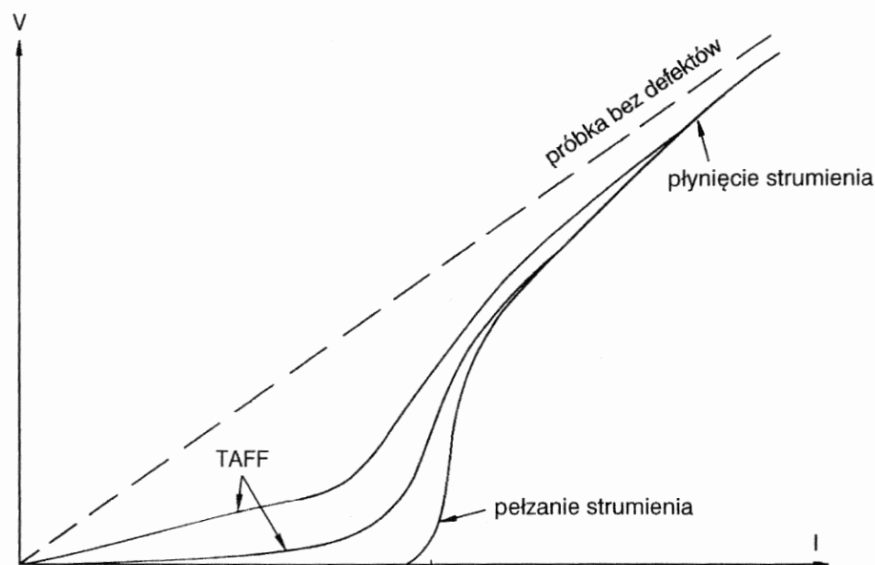
Podstawowymi parametrami nadprzewodnika drugiego rodzaju są temperatura krytyczna (w zerowym polu magnetycznym), pola krytyczne  $H_{c1}$  i  $H_{c2}$  i prąd krytyczny (te zależą od temperatury). Prąd krytyczny dla takiego nadprzewodnika jest zadany przez siłę zaczepiania fluksonów. Zjawisko to jest odpowiedzialne również za pojawienie się pętli histerezy magnetycznej w nadprzewodnikach II rodzaju.



Rys. 1 Przykład pętli histerezy zmierzonej dla nadprzewodnika FeSe w  $T=5K$ . (za T. Werner-Malento – praca doktorska IF PAN) do porównania z rys. 4.2 z podręcznika [1] lub fig. 2 z pracy [1b]

Celem doświadczenia jest zaobserwowanie efektu Meissnera-Ochsenfelda i zaczepiania wirów w trakcie badania lewitacji nadprzewodnika wysokotemperaturowego w niejednorodnym polu magnetycznym, zbadanie własności elektrycznych próbek nadprzewodnika (w tym zależności prądu krytycznego – płynięcia i pełzania strumienia, od pola magnetycznego), oraz wyznaczenie temperatury krytycznej.

## Pracownia technik pomiarowych Inżynierii Nanostruktur Nadprzewodnik Wysokotemperaturowy.



Rys. 4.10. Charakterystyka prądowo-napięciowa w różnych obszarach dynamiki wirów

Rys.2 Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe dla nadprzewodnika II rodzaju (wysokotemperaturowego) dla różnych temperatur. Rys. 4.10 z podręcznika [1] (do porównania z rys. 4.4 tamże, lub fig. 1 z [1a]).

### 1. Co należy wiedzieć przed przystąpieniem do ćwiczenia?

Własności nadprzewodników, w szczególności:

- Własności nadprzewodnika I i **II rodzaju** (własności elektryczne, magnetyczne, m.in. wykresy fazowe, parametry krytyczne, zjawisko Meissnera-Ochsenfelda), **równania Londonów**
- Prądy krytyczne w nadprzewodnikach 2 rodzaju, zaczepianie wirów, płynięcie i pełzanie strumienia**, model Beana

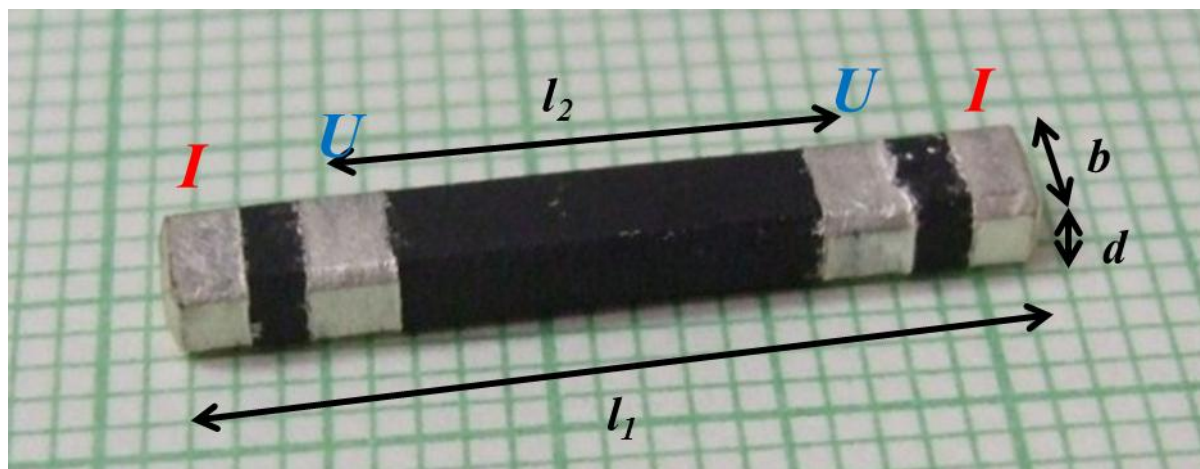
Metoda pomiarowa

- pomiary elektryczne, metoda czterech sond (czterokontaktowa)

### 2. Badana próbka

Jest to nadprzewodnik ceramiczny: YBaCuO lub BiPbSrCaCuO

Badane próbki pochodzą z [CAN SUPERCONDUCTORS](#).



Rys.1. Widok i wymiary próbki. Kontakty prądowe (I) zaznaczone na czerwono, kontakty napięciowe (U) na niebiesko.

Wymiary próbek:  $b=3$  mm,  $d=2$  mm,  $l_1=20$  mm,  $l_2=12$  mm.

# Pracownia technik pomiarowych Inżynierii Nanostruktur Nadprzewodnik Wysokotemperaturowy.

## 3. Przebieg ćwiczenia

- 1) Lewitacja nadprzewodnika – mając do dyspozycji kilka magnesów z ziem rzadkich i metalową płytkę konstruujemy z nich „kwadrupolowy” układ magnesów. Pole magnetyczne określamy przy pomocy teslomierza. „Zawieszamy” nadprzewodnik w polu magnetycznym.
- 2) Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych metodą czterech sond w temperaturze pokojowej przy ustalonym polu magnetycznym (zero,  $\sim 0.5$ ,  $\sim 1$ T,  $\sim 1.5$ T)  $\rightarrow$  wyznaczenie oporności próbki. **Maksymalny prąd = 1A.**
- 3) Wyznaczanie wartości prądu krytycznego  $I_c(B)$ . Przez próbkę w stanie nadprzewodzącym (temperatura ciekłego azotu 77.36K) przepuszczamy prąd (do 1A). Rejestrujemy, przy jakiej wartości prądu i pola magnetycznego pojawia się opór elektryczny. Można badać charakterystyki prądowo-napięciowe dla różnych pól lub  $U(B)$  dla różnych prądów. Rozróżnić zjawiska płynięcia i pełzania strumienia.
- 4) Pomiar zależności oporności od temperatury. Dla ustalonego prądu (np.  $I = 50$ mA) zmierzmy zależność napięcia  $U$  od temperatury  $\rightarrow$  wyznaczenie temperatury krytycznej  $T_c$ . Temperaturę mierzymy termoparą, która znajduje się tuż przy próbce. Aby wyeliminować efekty termoelektryczne (zjawisko Seebecka, zjawisko Peltiera), pomiar przeprowadzamy dla dwóch zwrotów prądu.

## 4. Przygotowanie opisu

Opis powinien składać się z następujących części:

1. Streszczenia (także w języku angielskim)
2. Wstępu teoretycznego (krótko – najważniejsze cechy nadprzewodników)
3. Opisu metody pomiarowej, układu pomiarowego i próbki
4. Wyników i ich analizy z komentarzem, w tym następujących wykresów
  - a. Charakterystyki prądowo napięciowe dla temperatury pokojowej i różnych pól
  - b. Wykresy użyte do wyznaczania zależności  $I_c(B) - U(I, B)$  lub  $U(B, I)$  z opisem metody wyznaczania prądu krytycznego  $I_c$
  - c. Wykres  $I_c$  od  $B$
  - d. Zależność oporu próbki od temperatury oraz zależność termosiły od temperatury
5. Podsumowania zawierającego wnioski

Opis ma mieć formę publikacji naukowej; należy pamiętać o numeracji wzorów i rysunków. Przy korzystaniu z materiałów (teksty, rysunki, programy) pochodzących od innych autorów należy w tekście umieścić odnośnik, a na końcu podać spis cytowanych źródeł (autor, tytuł, adres strony itp.).

### Przeliczenie temperatury.

Na jednym z uchwytów termopara znajduje się przy próbce, a punkt odniesienia na górze przy wtyczce (w temperaturze pokojowej). Na drugim uchwycie zamontowane są dwie termopary, a ich punkty odniesienia mogą być wkładane do naczynia z wodą z lodem lub ciekłym azotem.

W obu przypadkach cechowanie termopary zadane jest wzorem:

$$T = 100 \cdot \sqrt{0.034 x^2 + 1.07 x + 0.58} \text{ K},$$

gdzie  $x = U(77,36\text{K}) - U(T)$  jest różnicą napięć mierzonych dla danej termopary wyrażoną w mV.

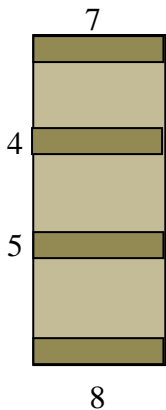
## 5. Literatura

### Nadprzewodniki

1. M. Cyrot, D. Pavuna **Wstęp do nadprzewodnictwa: nadprzewodniki wysokotemperaturowe**, PWN, 1996. (zwłaszcza rozdział 4).
  - a. A. R. Strnad, C. F. Hempstead, and Y. B. Kim, [Phys. Rev. Lett. 13, 794–797 \(1964\)](#)
  - b. J. D. Livingston, [Rev. Mod. Phys. 36, 54–58 \(1964\)](#)
2. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Nadprzewodnictwo> oraz w strona w języku angielskim
3. A. Oleś “Metody doświadczalne fizyki ciała stałego” – rozdział 6.2.3, Warszawa, WNT, 1998 (wydanie II)
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Four-terminal\\_sensing](http://en.wikipedia.org/wiki/Four-terminal_sensing)

## Pracownia technik pomiarowych Inżynierii Nanostruktur Nadprzewodnik Wysokotemperaturowy.

### Dodatek: opis układu pomiarowego



Schematyczny rysunek próbki i połączeń przedstawiony jest na rysunku obok.

Orientacja góra-dół odpowiada umieszczeniu próbki w szklanym naczyniu między nabiegownikami magnesu:

Do pomiarów napięć, wykorzystywany jest woltomierz cyfrowy Keithley 2000 wyposażony w tzw. kartę skanera, która umożliwia pomiary do 10-ciu napięć. W momencie zamknięcia kanału na wyjściu z karty pojawia się napięcie, które mierzone jest na tylnym panelu urządzenia (przycisk REAR powinien być wciśnięty). Napięcie jest widoczne na wyświetlaczu.

Adres GPIB miernika Keithley 2000: 16

Prąd płynący przez próbkę  $I$  (i przez elektromagnes  $I_B$ ) mierzony jest pośrednio. Prąd wyznaczany jest ze spadku napięcia na oporniku  $R$  (oraz  $R_B$ ) szeregowo podłączonym do danego obwodu.

Temperatura, – jeśli potrzeba, może być mierzona pośrednio przez pomiar napięcia  $U_T$  na termoparze; relacja między  $U_T$  a  $T$  jest dana krzywą kalibracyjną danej termopary

Podłączenie kanałów:

kanał 1: pomiar napięcia na oporniku  $R$  -->  $I$

kanał 2: pomiar napięcia na termoparze  $U_T$  -->  $T$

kanał 3 pusty

kanał 4: różnica  $U_4-U_5$ , napięcie podłużne

kanał 5: pusty

kanał 6: pomiar napięcia na oporniku  $R_B$  -->  $I_B$  (prąd elektromagnesu)

kanał 7: ewentualny pomiar napięcia na drugiej termoparze  $U_T$  -->  $T$

Informacje dodatkowe, m.in dla sprawdzenia konfiguracji:

- 1) napięcie na kanale 1 mierzone jest jako Hi-Lo, gdzie do HI podłączony jest biały kabelek z czerwonym wtykiem, do LO czarny z czarnym wtykiem
- 2) napięcia na kanale 6 mierzone jest jako Hi-Lo, gdzie do Hi podłączony jest zielony kabelek z żółtym wtykiem, a do LO niebieski kabelek niebieskim wtykiem
- 3) prąd podawany jest do złącza 7 przez czerwony kabelek z czerwonym wtykiem, i ze złącza 8 przez fioletowy kabelek z czarnym wtykiem.

Zasilacz prądu próbki połączony jest przez złącze USB i pojawia się, jako port szeregowy o adresie zależnym od złącza USB, do którego się go wetknie. Podobnie zachowują się pozostałe przyrządy z interfejsem USB np. miernik pola magnetycznego SMS-102.

Zasilacz może stabilizować jedynie prąd lub napięcie dodatnie (zgłasza błąd, jeśli wysyłać komendę ustawiającą ujemny prąd lub napięcie). Dlatego do zmiany kierunku prądu służą przełączniki: do prądu próbki - sterowany przez USB przełącznik AVT i dla prądu elektromagnesu - ręczny przełącznik kierunku.