

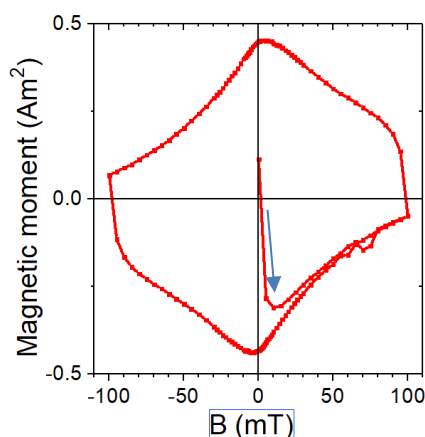
T5

Badania właściwości elektrycznych nadprzewodnika YBaCuO

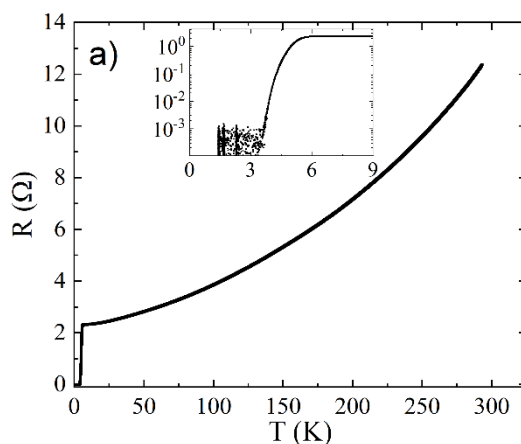
Stan nadprzewodzący jest niezwykle ciekawym stanem materii, który charakteryzuje się brakiem oporu elektrycznego oraz diamagnetyzmem. Odkryty w 1911 roku przez Heike Kamerlingh Onnes na uniwersytecie w Lejdzie dał początek intensywnym badaniom mechanizmów oddziaływania między elektronami. Odkrycie nadprzewodników wysokotemperaturowych w 1986 roku pozwoliło na obserwację zjawiska nadprzewodnictwa w nieco wyższych i bardziej dostępnych temperaturach: powyżej temperatury wrzenia ciekłego azotu.

Celem tego doświadczenia jest zaobserwowanie efektu i zaczepiania wirów w trakcie badania lewitacji nadprzewodnika $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ wysokotemperaturowego w niejednorodnym polu magnetycznym, zbadanie własności elektrycznych próbek nadprzewodnika, w tym wyznaczenie temperatury krytycznej oraz wartości krytycznej prądu w zależności dla różnych indukcji pola magnetycznego.

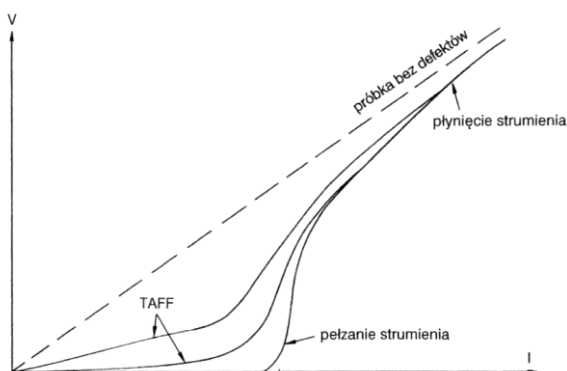
Podstawowymi parametrami nadprzewodnika są temperatura krytyczna T_c , pola krytyczne H_c i prąd krytyczny j_c . Jeśli temperatura, pole magnetyczne lub gęstość prądu przekracza wartość krytyczną nadprzewodnik przechodzi ze stanu nadprzewodzącego do normalnego. Dla nadprzewodników drugiego rodzaju występują dwa pola krytyczne (H_{c1} i H_{c2}) między którymi materiał ten jest w tzw. stanie mieszanym. Prąd krytyczny dla takiego nadprzewodnika jest zadany przez siłę zaczepiania wirów magnetycznych (fluksonów) występujących w stanie mieszanym. Zjawisko to jest odpowiedzialne również za pojawienie się pętli histerezy magnetycznej w nadprzewodnikach II rodzaju.



Rys. 1. Pętla pętli histerezy zmierzonej dla nadprzewodnika FeSe w $T=5\text{K}$.
(Werner-Malento, praca doktorska IF PAN)



Rys. 2. Spadek oporu dla PbTe/SnTe przechodzącego do stanu nadprzewodzącego w ok. 3K (P. Sidorczak, praca mgr, FUW)



Rys. 3. Charakterystyki prądowo-napięciowe dla nadprzewodnika II rodzaju (wysokotemperaturowego) dla różnych temperatur. Rys. 4.10 z podręcznika [6]

1. Co należy wiedzieć przed przystąpieniem do ćwiczenia?

1A. właściwości fizyczne metali: kwantowo-mechaniczny opis elektronu w potencjale periodycznym, zależność energii od wektora falowego, gęstość stanów, prawdopodobieństwo obsadzenia stanu, energia Fermiego. Przewodnictwo w metalach, mechanizmy rozpraszania i ich zależność od temperatury, zależność oporności od temperatury, podstawowe wielkości materiałowe: ruchliwość, koncentracja

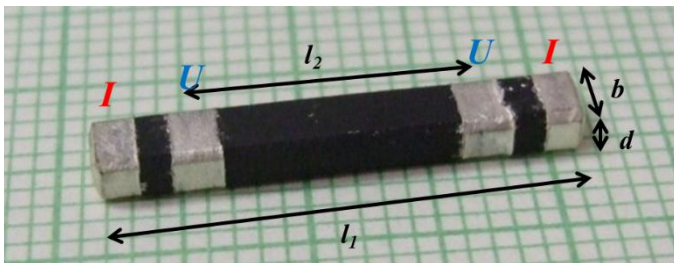
1B. nadprzewodnictwo, właściwości elektryczne i magnetyczne nadprzewodnika, nadprzewodniki I i II rodzaju, równania Londonów, nadprzewodnik w polu magnetycznym, pełzanie i płynięcie strumienia, zaczepianie wirów,

1C. pomiary rezystancji próbek niskooporowych

2. Badana próbka

Jest to nadprzewodnik ceramiczny YBaCuO, wyprodukowany przez Can Superconductors (<https://www.can-superconductors.com/>).

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



Rys.1. Badana próbka z metalizacjami.

Kontakty prądowe (I) są zaznaczone na czerwono, kontakty napięciowe (U) - na niebiesko.

3. Przebieg ćwiczenia

- 1) Zapoznanie się z układem pomiarowym.
 - a. Woltomierz wielokanałowy Keithley 2000. Woltomierz został wyposażony w tzw. kartę skanera, która pozwala na pomiar 10 napięć. Należy wybrać odpowiedni input: FRONT/REAR i potem odczytać napięcie na danym kanale przyciskiem: OPEN/CLOSE
 - b. Zasilacz. Opanowanie używania zasilacza w trybie stabilizacji napięcia albo prądu
- 2) Kalibracja elektromagnesu → wyznaczenie zależności między prądem płynącym przez cewki I_B , a polem magnetycznym (indukcją) B , mierzonym przez teslomierz. Natężenie pola magnetycznego H jest proporcjonalne do prądu płynącego przez elektromagnes. Prąd mierzymy poprzez pomiar spadku napięcia na oporniku wzorcowym szeregowo włączonym w obwód cewek. Indukcję pola magnetycznego B mierzymy teslomierzem. Ponieważ mierzone $B = \mu_0(H+M)^*$, wkład do indukcji pola może pochodzić również od namagnesowania nabiegunków elektromagnesu (remanencja). Należy określić jak silny jest ten efekt. Maksymalny prąd elektromagnesu $I_{Bmax} = 10$ A.
- 3) Pomiary własności próbek YBaCuO
 - a. Sprawdzenie oporu próbki dwusondowo (kontakty 7-8, 4-5)
 - b. Pomiar oporu kabla – trening w metodzie 4 sond

* μ_0 – przenikalność magnetyczna, $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A²

- c. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych w temperaturze pokojowej → wyznaczenie oporności próbki i zbadanie jej ewolucji pod wpływem magnetycznego kilka wartości. Maksymalny prąd przez próbkę $I_{\max}=1\text{A}$.
- d. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych w temperaturze ciekłego azotu. Obserwacja wpływu pola magnetycznego na kształt charakterystyk. Zgromadzenie danych, aby → wyznaczyć prąd krytyczny dla różnych pól. → wyznaczenie zależności prądów krytycznych od pola. Maksymalny prąd przez próbkę $I_{\max}=1\text{A}$.
- e. Pomiar zależności napięcia na próbce od pola magnetycznego, dla ustalonego prądu płynącego przez próbkę, w temperaturze ciekłego azotu → wyznaczenie prądu krytycznego w danym polu. Dla każdej wartości pola magnetycznego pomiar napięcia przeprowadzany jest dla dwóch zwrotów prądu (zaimplementowane w programie).
- f. Pomiar zależności napięcia na próbce w zależności od temperatury (podczas odgrzewania się próbki, w locie) dla kilku wartości pola (przy ustalonym prądzie) albo kilku wartości prądu (przy ustalonym polu) → wyznaczenie napięcia związanego z oporem ORAZ napięcia pasożytniczego i ich zależności od temperatury; wyznaczenie temperatury krytycznej T_c . Sensorem temperatury jest termopara, której jeden koniec znajduje się tuż przy próbce, drugi powinien być w ciekłym azocie. Dla każdej temperatury pomiar napięcia wykonywany jest dla dwóch zwrotów prądu przez próbkę (zaimplementowane w programie).
- g. Lewitacja nadprzewodnika – mając do dyspozycji kilka magnesów z ziem rzadkich i metalową płytkę konstruujemy z nich układ magnesów. Pole magnetyczne określamy przy pomocy teslomierza. „Zawieszamy” nadprzewodnik w polu magnetycznym. Proszę znaleźć argumenty, że nadprzewodnik, jakim dysponujesz, jest II rodzaju.

4. Przygotowanie opisu

Opis powinien składać się z następujących części:

1. Streszczenie po polsku ORAZ abstract (in English)
2. Wstęp teoretyczny. Proszę się kierować wynikami i tak zbudować wstęp, aby dawał wprowadzenie do wyników, bez lania wody.
3. Opis metody pomiarowej, układu pomiarowego i próbki. To jest dobre miejsce na pokazanie i omówienie wyników kalibracji elektromagnesu, skomentowanie remanencji.
4. Wyniki i analiza danych – ważne jest klarowne przedstawienie i opisanie danych. Nie mniej ważne jest komentowanie uzyskanych wyników (tak, asystent widzi, tym niemniej). Do przeliczenia napięcia na termoparze na temperaturę proponujemy zależność:

$$T(K) = 100 \cdot \sqrt{0.034 x^2 + 1.07 x + 0.58} \text{ K,}$$
gdzie x jest wyrażonym w mV napięciem na termoparze z odniesieniem w ciekłym azocie.
5. Podsumowanie.

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.). Więcej informacji u asystenta lub np. na stronie pracowni wstępnej:
http://pracownie1.fuw.edu.pl/pw/pliki/przyk%C5%82adowy_raport_brzeszczot_PW.pdf

5. Przykładowa literatura

Właściwości fizyczne metal

- [1]. B. N. Buszmanow, J. A. Chromow, „Fizyka ciała stałego”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 1975, rozdział 3 i 4.
- [2]. Jerzy Ginter „Wstęp do fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego”, dla wyd.II popr, od str. 239
- [3]. John Singleton „Band Theory and Electronic Properties of Solids”, Oxford University Press, 2001
- [4]. Donald A. Neamen „Semiconductor Physics and Devices. Basic Principles”, McGrawHill, 2011

Nadprzewodnictwo

- [5]. Andrzej Szewczyk, Andrzej Wiśniewski, Roman Puźniak, Henryk Szymczak, „Magnetyzm i nadprzewodnictwo”, PWN 2012, od str.193
- [6]. Michel Cyrot, Davor Pavuna „Wstęp do nadprzewodnictwa: nadprzewodniki wysokotemperaturowe”, PWN, 1996. rozdział 1, 2 i 4. lub ang. Wersja: „Introduction to Superconductivity and High-Tc Materials”, World Scientific Publishing 1992.

Pomiary rezystancji próbek niskooporowych

- [7]. Low Level Measurement Handbook, sec.3.3, http://www.helmar.com.pl/helmar/plik/linki-low_level_handbook_nn551.pdf
- [8]. A. Oleś “Metody doświadczalne fizyki ciała stałego” – rozdział 6.2.1-3, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, 1998