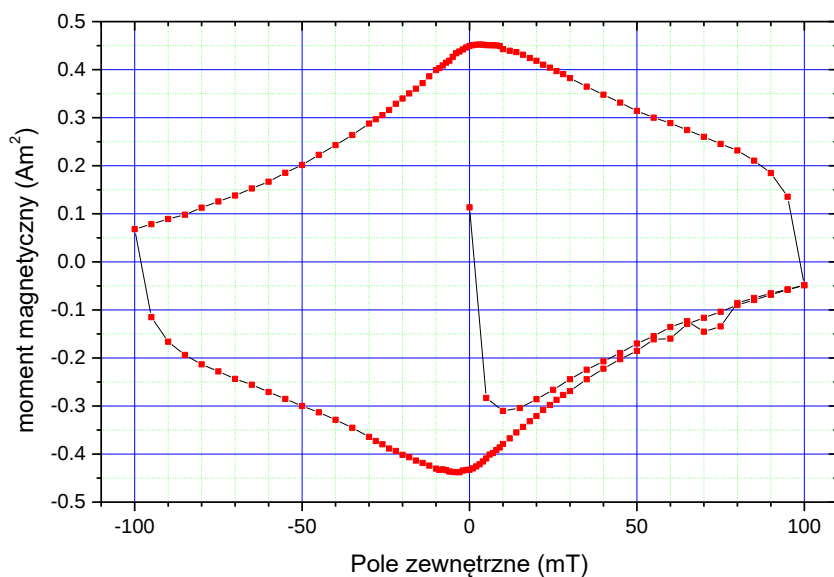


T5

Badanie nadprzewodnictwa w temperaturze ciekłego azotu.

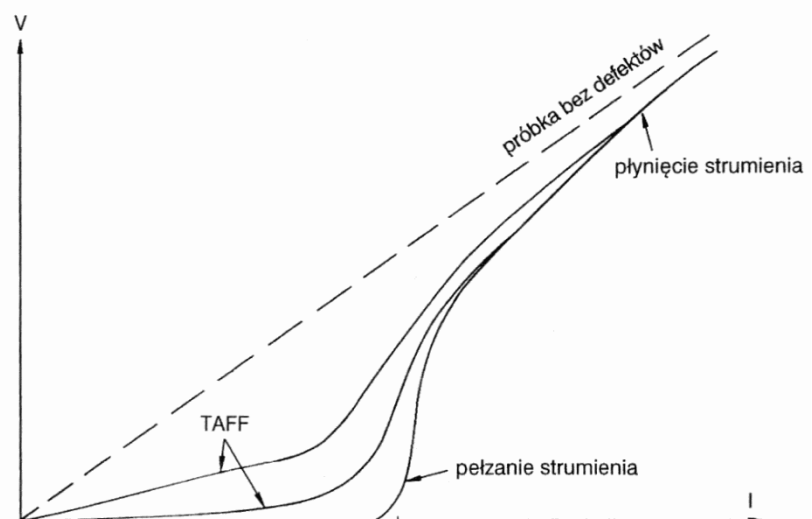
Odkrycie nadprzewodników wysokotemperaturowych w 1986 roku pozwoliło na obserwację zjawiska nadprzewodnictwa w bardziej dostępnych temperaturach (powyżej temperatury wrzenia azotu). Podstawowymi parametrami nadprzewodnika drugiego rodzaju są temperatura krytyczna, pola krytyczne H_{c1} i H_{c2} i prąd krytyczny. Prąd krytyczny dla takiego nadprzewodnika jest zadany przez siłę zaczepiania wirów magnetycznych (fluksonów) występujących w tzw. stanie mieszanym (między H_{c1} i H_{c2}). 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)

Celem tego 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.

Rys.2 Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe dla nadprzewodnika II rodzaju (wysokotemperaturowego) dla różnych temperatur. Rys. 4.10 z podręcznika [4] (do porównania z rys. 4.4 tamże).



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

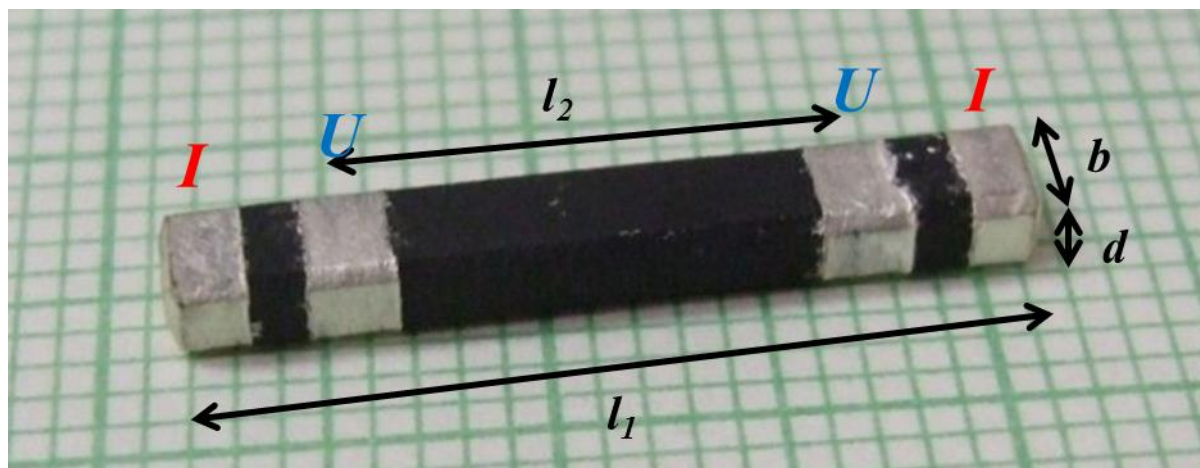
1. Co należy wiedzieć przed przystąpieniem do ćwiczenia?

- właściwości elektronów w metalach, widmo energii, zależność energii od wektora falowego, struktura pasmowa, energia Fermiego, powierzchnia Fermiego, gęstość stanów, rozkład Fermiego-Diraca
- transport elektryczny: model Drudego, rozpraszanie, drgania sieci. Pojęcia: przewodnictwo, ruchliwość i koncentracja, zależności tych wielkości od temperatury,
- zjawiska termoelektryczne, termopara
- nadprzewodnik: właściwości elektryczne i magnetyczne, dla I i II rodzaju, wykresy fazowe, parametry krytyczne, równania Londonów, prądy krytyczne w nadprzewodnikach 2 rodzaju, zaczepianie wirów, płynięcie i pełzanie strumienia, model Beana
- pomiary elektryczne próbek niskooporowych, metoda czterech sond (patrz rys.1)

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.

3. Przebieg ćwiczenia

- 1) Kalibracja elektromagnesu. Natężenie pola magnetycznego H jest proporcjonalne do prądu płynącego przez elektromagnes (I_B). Prąd mierzymy poprzez pomiar spadku napięcia na oporniku wzorcowym włączonym w obwód. Indukcję pola magnetycznego B mierzymy teslomierzem → wyznaczenie krzywej kalibracyjnej; Ponieważ mierzone $B = \mu_0(H+M)$ *, wkład do indukcji pola może pochodzić również od namagnesowania nabiegunków elektromagnesu (pole szczątkowe). Należy określić jak silny jest ten efekt.
- 2) 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.
- 3) Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych metodą czterech sond w temperaturze pokojowej przy ustalonym polu magnetycznym (zero, ~ 0.5 , ~ 1 T, ~ 1.5 T) → wyznaczenie oporności próbki. **Maksymalny prąd =1A.**
- 4) 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-

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

napięciowe dla różnych pól lub $U(B)$ dla różnych prądów. Rozróżnić zjawiska płynięcia i pełzania strumienia.

- 5) Pomiar zależności oporności od temperatury. Dla ustalonego prądu (np. $I = 50\text{mA}$) 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 Seebeck'a, zjawisko Peltier'a), 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 z komentarzami i ich analizy
5. Podsumowania zawierającego wnioski

Ad. 3. Przy opisie układu należy zamieścić wyniki kalibracji elektromagnesu. Należy odpowiedzieć, czy zjawisko histerezy ma istotne znaczenie; podać krzywą kalibracyjną (współczynniki i niepewności).

Ad. 4 i zależności $U(T)$: należy wyznaczyć i przeanalizować zarówno zależność $R(T)$ jak i $U_{\text{paszytnicze}}(T)$.

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, jedna bezpośrednio przy próbce, druga – jako punkt odniesienia, którym zwykle jest ciekły azot. 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

Ciało Stałe

1. H. Ibach, H. Lüth, Fizyka ciała stałego, PWN, 1996
2. C. Kittel, Wstęp do fizyki ciała stałego, PWN, 1999-2012
3. R. A. Smith, Półprzewodniki, PWN, 1966
4. R. S. Popovic "Hall Effect Devices" Second Edition, 2004 (do znalezienia w necie).
5. Micheal P. Marder, Condensed Matter Physics, 2010 (biblioteka F UW)

Nadprzewodniki

6. M. Cyrot, D. Pavuna, Wstęp do nadprzewodnictwa: nadprzewodniki wysokotemperaturowe, PWN, 1996.
7. A. R. Strnad, C. F. Hempstead, and Y. B. Kim, [Phys. Rev. Lett. 13, 794–797 \(1964\)](#)
8. J. D. Livingston, [Rev. Mod. Phys. 36, 54–58 \(1964\)](#)
9. A. Szewczyk, A. Wiśniewski, R. Puźniak, H. Szymczak, Magnetyzm i nadprzewodnictwo, PWN 2012.
10. H. Ibach, H. Lüth, "Fizyka ciała stałego", rozdział 10
11. Ch. Kittel „Wstęp do fizyki ciała stałego”, PWN, rozdział 12, ewentualnie uzupełnienie H.
12. A. Oleś “Metody doświadczalne fizyki ciała stałego” – rozdział 6.2.10, Warszawa, WNT, 1998 (wyd. II)
13. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Nadprzewodnictwo> oraz angielski odpowiednik

Metoda czterech sond (=połączenie czteropunktowe, four-terminal sensing, four probe method),

14. http://en.wikipedia.org/wiki/Four-terminal_sensing
15. http://www.helmar.com.pl/helmar/plik/linki-low_level_handbook_nn551.pdf $\rightarrow$ rozdział 4.7.2

Zjawiska termoelektryczne

16. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/tcoup.html> lub np.4.