

|  |               |                              |                    |
|--|---------------|------------------------------|--------------------|
| <b>Laboratorium<br/>Metod Badania<br/>Własności Fizycznych</b> |               | <b>Podatność magnetyczna</b> | Zespół w składzie: |
| Wydział:   | Kierunek:     | Rok:                         |                    |
| Data wykonania:  | Data oddania: | Ocena:                       |                    |

## Cel ćwiczenia

Pomiar podatności magnetycznej i jej zależności od temperatury dla różnych klas materiałów magnetycznych: paramagnetyków, ferromagnetyków, antyferromagnetyków i nadprzewodników. Zapoznanie się z woltomierzem fazoczułym – przyrządem do pomiaru słabych napięć przemiennych i metodyką pomiarów zmiennoprądowych.

## Wymagane wiadomości teoretyczne

Prawo indukcji Faradaya. Definicja momentu magnetycznego, namagnesowania i podatności magnetycznej. Rodzaje uporządkowania magnetycznego i wynikająca z nich wielkość podatności magnetycznej. Magnetyczne przejścia fazowe – temperatury Curie i Neéla. Zależność temperaturowa podatności magnetycznej dla różnych klas związków (paramagnetyki, ferromagnetyki, antyferromagnetyki, diamagnetyki, nadprzewodniki). Prawo Curie-Waissa. Zasada pomiaru podatności magnetycznej przy użyciu woltomierza fazoczułego.

## Literatura

- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki, tom 3*, PWN (wydanie dowolne).
- C. Kittel, *Wstęp do fizyki ciała stałego*, PWN (wydanie dowolne).
- S. Blundell, *Magnetism in Condensed Matter*, Oxford University Press (wydanie dowolne).

## Instrukcja wykonania ćwiczenia

1. Włączyć woltomierz fazoczuły w celu ustabilizowania jego warunków pracy (ok. 15 minut).
2. Wyznaczyć parametry sondy do pomiaru pola – zmierzyć średnicę i policzyć liczbę zwojów – i umieścić ją we wnętrzu aparatury pomiarowej.
3. Zestawić układ pomiarowy według schematu umieszczonego w instrukcji do ćwiczenia znajdującej się w pracowni (rys. 2) i uruchomić obwód zasilania cewki wytwarzającej zmienne pole magnetyczne (generator mocy).
4. Ustalić warunki pracy generatora (niezmienne do końca ćwiczenia):
  - częstotliwość pracy między 110Hz a 390Hz (unikając wielokrotności 50Hz),
  - napięcie rzędu 1V.
5. Przygotować woltomierz fazoczuły ustalając częstotliwości dla filtrów dolno- i górno-przepustowego (w zależności od wybranej częstotliwości pracy), *sensitivity* z zakresu 0.1-3mV, stałą czasową 0,3 lub 1s. Sprawdzić działanie przesuwника fazy znajdując wartość  $\theta$ , dla której napięcie wyjściowe jest maksymalne. Zapisać tę wartość i nie zmieniać jej do końca ćwiczenia.
6. Wykonać pomiar napięcia odczytując wartość ze wskaźnika cyfrowego woltomierza i przemnażając przez zakres pomiarowy. Wyznaczyć wartość  $B_0$  pola magnesującego - punkt A opracowania wyników.
7. Usunąć sondę do pomiaru pola i podłączyć wyjście cewek mierzących podatność na wejście przedwzmacniacza woltomierza.
8. Wstawić do układu próbkę niklu (o najsilniejszym sygnale magnetycznym). Przesuwając w górę i w dół przy pomocy mosiężnego pokrętła. Notować (w funkcji pozycji) napięcie  $U_{Ni}$  (z próbką) oraz napięcie tła,  $U_{bg}$ , otrzymane każdorazowo po wysunięciu próbki na zewnątrz cewek. Zbadać

zależność napięcia od położenia, punkt A opracowania wyników, i ustalić pozycję maksymalnego sygnału.

9. Wyznaczyć podatność magnetyczną próbki Ni, wynik zapisać w punkcie B opracowania.
10. Powtórzyć pomiar dla silnych paramagnetyków ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$  i/lub  $\text{Er}_2\text{O}_3$ ), odpowiednio dobierając zakres pomiarowy aby uzyskać optymalne wskazania woltomierza (maksymalna wartość poniżej nasycenia). Przy pomocy tych pomiarów wykonać cechowanie podatności – punkt B opracowania wyników.
11. Wykonać pomiar podatności w temperaturze pokojowej dla innych próbek. Wyniki zapisać w punkcie B opracowania i porównać z danymi literaturowymi.
12. Następnie przygotować układ do wykonania pomiaru zależności podatności w funkcji temperatury dla kilku próbek. Uruchomić układ do pomiaru temperatury (patrz instrukcja w pracowni, rys.6). Włączyć niewielką ilość azotu w celu schłodzenia próbki (umieszczając wcześniej w układzie grzejnik z ołowiem, jako balastem cieplnym). Odczekać do ustalenia temperatury w pobliżu 90K. Wykonać pomiar  $U$  oraz  $U_{bg}$  dla paramagnetyka. Wynik zapisać w punkcie B opracowania. Układ jest gotowy do pomiaru w funkcji rosnącej temperatury.
13. W zależności od dostępnego czasu wykonać pomiary w funkcji temperatury dla próbki antyferromagnetycznego Dy (przejście Neéla w 179K) i/lub nadprzewodnika wysokotemperaturowego (gwałtowny skok podatności przy przejściu nadprzewodzącym). Wyniki pomiarów zapisywać sukcesywnie w punkcie C opracowania.
14. Na zakończenie wyłączyć wszystkie urządzenia elektryczne i uporządkować stanowisko pracy.
15. Dokończyć opracowanie wyników i podsumować ćwiczenie.

## Wstęp teoretyczny

Powinien zostać przygotowany przed zajęciami i zawierać zestawienie informacji z punktu „Wymagane wiadomości teoretyczne”. Jego długość nie powinna przekraczać dwóch stron.

## Opracowanie wyników

Studenci wykonują opracowanie wyników podczas zajęć. Ocena z ćwiczenia jest wypadkową przygotowania teoretycznego, staranności wykonania pomiarów oraz jakości i ilości wykonanych punktów opracowania.

Aby obliczyć napięcie  $U$ , które posłuży do obliczenia podatności magnetycznej należy posłużyć się wzorem:

$$U = \frac{U_{\text{voltmeter}} [V]}{\text{Voltmeter range} [V]} \cdot \text{sensitivity} [mV] \quad (1)$$

gdzie  $U_{\text{voltmeter}}$  jest odczytywane z cyfrowego miernika podłączonego do woltomierza fazoczułego, zakres miernika cyfrowego powinien być ustawiony na 10V i nie zmieniany podczas całego ćwiczenia, czułość jest ustawiana na woltomierzu fazoczułym i powinna być zmieniana w zależności od wielkości sygnału z próbki.

### A. Charakterystyka układu pomiarowego

Z prawa indukcji Faradaya napięcie powstające na skutek umieszczenia cewki w przemiennym polu magnetycznym  $B_0(t)$  wyraża się wzorem:

$$U_H = -N_H S \frac{dB_0}{dt}$$

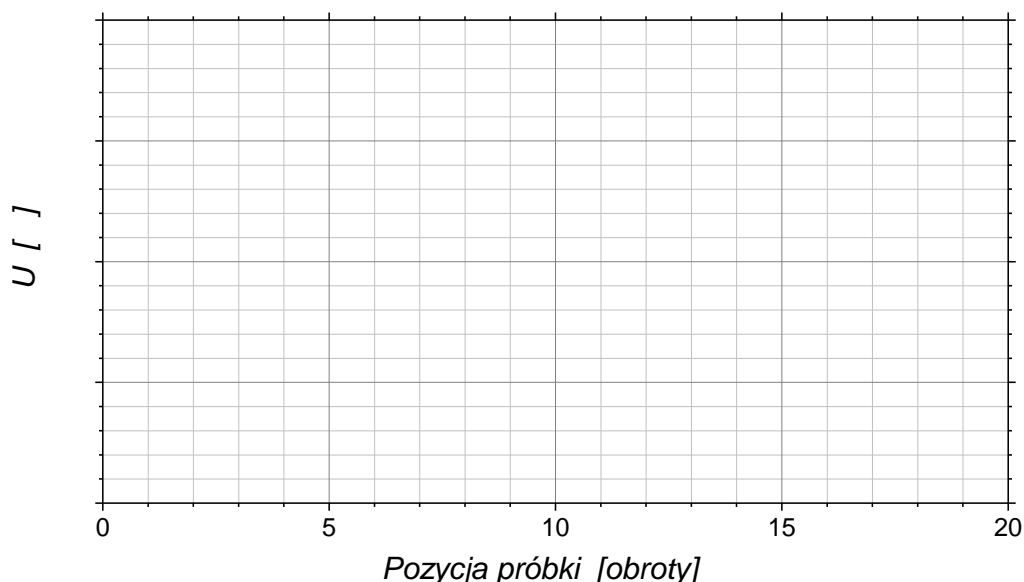
gdzie  $S$  to pole przekroju cewki (sondy),  $N_H$  to ilość jej zwojów,  $\omega$  to częstość kątowna gdzie  $\omega = 2\pi f$ , a  $f$  to częstotliwość ustawiona na generatorze mocy na początku ćwiczenia. Znając napięcie  $U_H$  można policzyć maksymalną wartość pola magnetycznego  $B_{0,max}$ , w którym znajduje się cewka. Pole to można obliczyć ze wzoru:

$$B_{0,max} = \sqrt{2} \cdot \frac{U_H}{N_H S \omega}, \quad (3)$$

gdzie czynnik  $\sqrt{2}$  pojawia się ze względu na to, że woltomierz mierzy wartość skuteczną przemiennego napięcia.

$$B_{0,max} = \frac{U_H}{N_H S \omega}$$

Następnie narysować na poniższym wykres zależność indukowanego napięcia w funkcji pozycji próbki  $Ni$  w układzie detekcyjnym. Zaznaczyć punkty pomiarowe symetrycznie względem maksimum w zakresie ok.  $\pm 10$  obrotów śruby mikrometrycznej.



### B. Podatność magnetyczna

W poniższej tabeli zapisać wyniki pomiarów maksymalnego napięcia indukcji i  $t_{\text{fa}}$  oraz wyznaczonej podatności dla wybranych próbek, obliczonej przez porównanie do próbki wzorcowej przy użyciu zależności:

$$\frac{x_x \sqcup_{\max} U_{\max} \sqcup_{\max} U_{\max}}{x_x \sqcup_{\max} U_{\max} \sqcup_{\max} U_{\max}} \quad \text{lub} \quad \frac{x_x \sqcup_{\max} U_{\max} \sqcup_{\max} U_{\max}}{x_x \sqcup_{\max} U_{\max} \sqcup_{\max} U_{\max}}.$$

[illegible]

### C. Zależność podatności od temperatury

Mierzone napięcia należy zapisywać w poniższych tabelach: napięcie termopary  $U_t$  i napięcie  $U_{voltmeter}$  z miernika cyfrowego podłączonego do woltomierza fazoczułego. Następnie obliczyć:

- temperaturę  $T$  znając  $U_i$ , (użyć tabel kalibracyjnych)
- napięcie ( $U_x - U_{bg}$ ) znając  $U_{voltmeter}$  (wzór (1))
- podatność magnetyczną  $\chi$  (wzór (4)).

## Nadprzewodnik

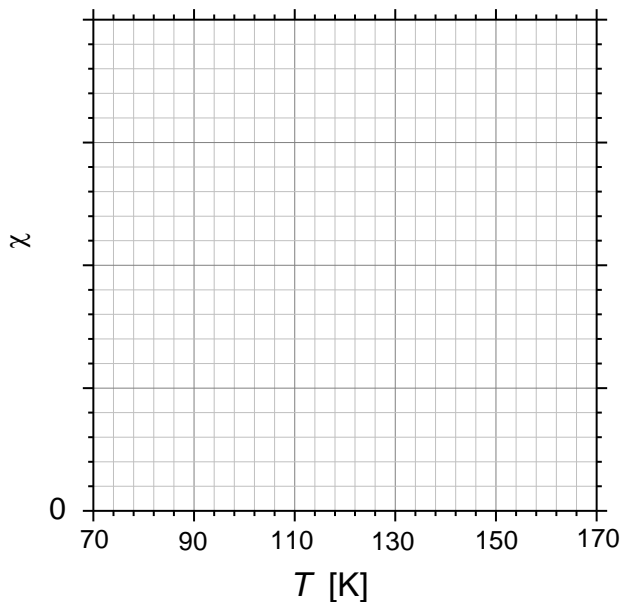
[illegible]

### Gadolin (Gd)

[illegible]

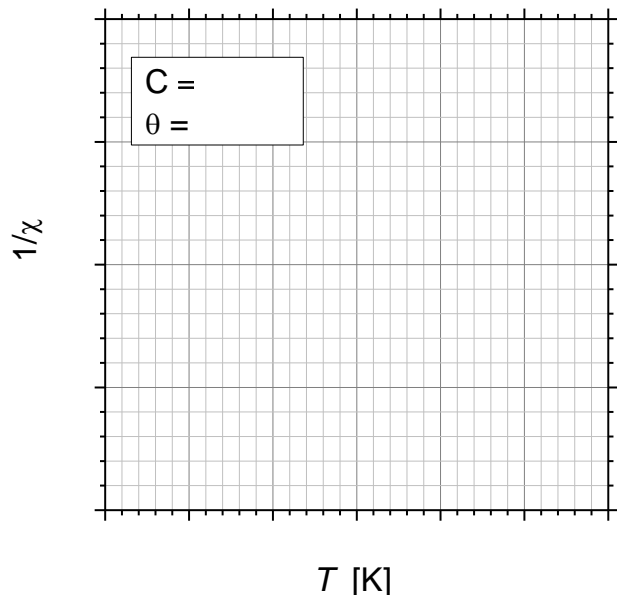
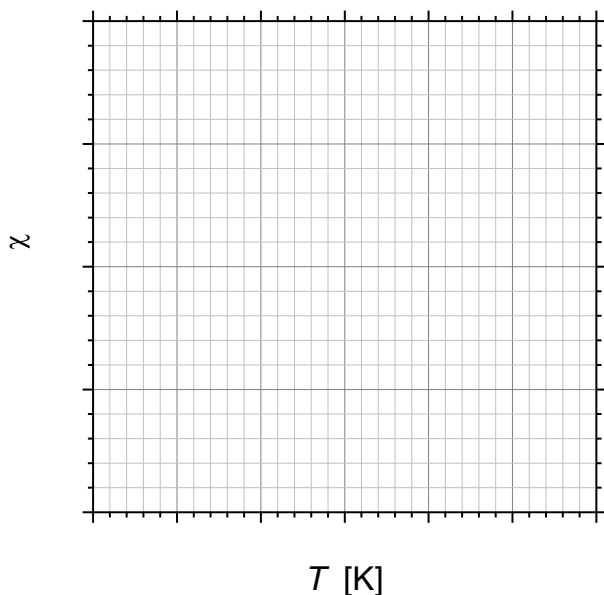
### Dla nadprzewodnika

sporządzić wykres podatności w funkcji temperatury, określić wartość temperatury przejścia w stan nadprzewodzący  $T_c$  w mierzonej próbce, porównać otrzymaną wartość z temperaturami przejścia dla innych znanych nadprzewodników.



### Dla gadolinu

sporządzić wykresy podatności  $\chi$  oraz  $1/\chi$  w funkcji temperatury (samemu wybrać zakres danych na obu osiach). Dla zależności  $1/\chi(T)$  wyznaczona zależność powinna być linią prostą, określić ile wynosi temperatura Curie  $\theta$  (punkt przecięcia prostej z osią x) oraz jej błąd. Czy otrzymana wartość zgadza się z wartością teoretyczną? Wyznaczyć stałą Curie ( $C$ ).



### **Podsumowanie**

Należy zwięźle opisać przebieg ćwiczenia i jego najważniejsze wyniki.