

Laboratorium Fizyki Ciała Stałego	6	Podatność magnetyczna	Zespół w składzie: 1. Paweł Rzońca 2. Paweł Kozioł 3. Agata Sławska
Wydział: WFİS	Kierunek: Fizyka Techniczna	Rok: 3	
Data wykonania: 5.11.2015	Data oddania: 19.11.2015	Ocena:	

Aparatura i metodyka

Aparatura użyta w ćwiczeniu:

- woltomierz fazoczuły
- woltomierz do pośredniego pomiaru temperatury
- układ pomiarowy z cewkami Helmholtza, grzałką oraz układem do pomiaru temperatury
- generator
- próbki Ni, Gd₂O₃, Gd, TL-3, Dy oraz sonda

Przed rozpoczęciem pomiaru odczekano na ustabilizowanie się woltomierza fazoczułego oraz zmierzono średnicę oraz ilość zwojów sondy. Generator ustawiono na częstotliwość dla której wskazania woltomierza były największe. Następnie zmierzono wskazania tegoż woltomierza dla sondy i znaleziono maksimum. Następnie przystąpiono do pomiaru próbki Ni, gdzie rozpoczęto od miejsca gdzie wskazania były małe w porównaniu z tłem i odczytywano je co dwa obroty śruby mikrometrycznej. Pomiar zakończono, po uzyskaniu w przybliżeniu symetrycznej liczby pomiarów względem mierzonego maksimum. Pomiar powtórzono tenże pomiar dla Gd₂O₃ oraz dla Dy, tym razem skupiając się głównie na wyznaczeniu maksimum wskazania woltomierza. Następnie przygotowano układ do pomiaru podatności w funkcji temperatury dla półprzewodnika TL-3 oraz Gd. W tym celu schłodzono układ wraz z próbką za pomocą ciekłego azotu i powoli podgrzewano go wbudowaną grzałką.

Opracowanie wyników

A - Charakterystyka układu pomiarowego

Wyniki pomiarów sondy:

$$d = 4 \text{ mm} \quad N_H = 8.$$

Częstotliwość pracy generatora ustawiono na $f = 160 \text{ Hz}$. Przy tej częstotliwości otrzymano największe wskazanie $U_H = 56 \text{ mV}$.

Korzystając z prawa indukcji Faraday'a,

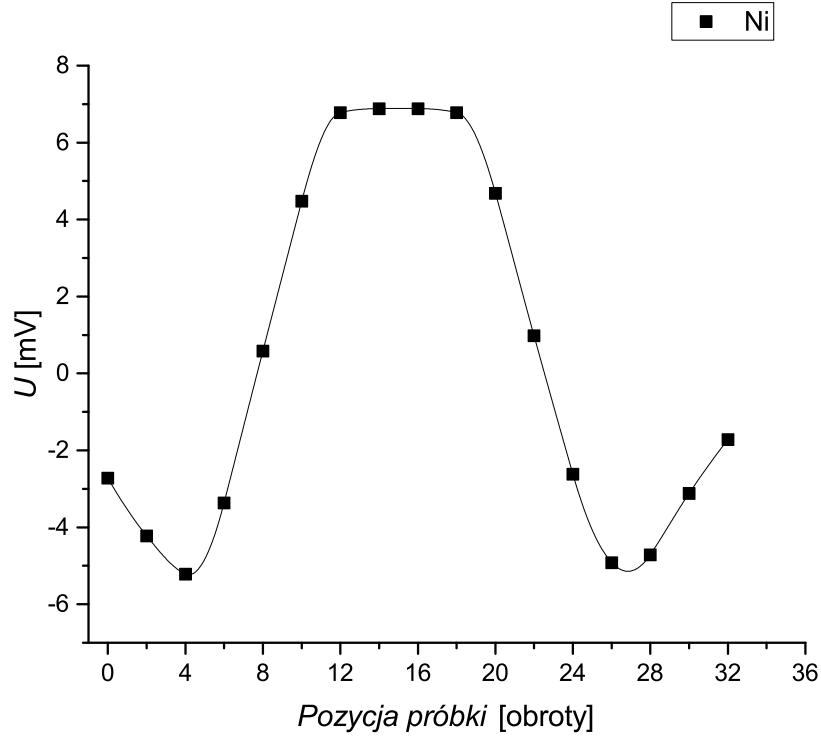
$$U_H(t) = N_H S B_{0,\max} \cos \omega t, \quad (1)$$

Wyznaczono wartość $B_{0,\max}$ pola magnesującego w układzie pomiarowym

$$B_{0,\max} = \frac{U_H \sqrt{2}}{N_H S \omega} = 0,8736 \text{ T}, \quad (2)$$

gdzie $\omega = 2\pi f$.

Następnie narysowano wykres (1) zależności indukowanego napięcia w funkcji pozycji próbki Ni w układzie. Pomiar wykonano co dwa obroty śruby mikrometrycznej.



Rysunek 1: Zależność indukowanego napięcia w funkcji pozycji próbki Ni w układzie detekcyjnym. Linię ciągłą dodano w programie Origin za pomocą funkcji dopasowującej gładką krzywą do wykresu i ma ona wyłącznie charakter poglądowy.

B - Podatność magnetyczna

W tabeli 1 zapisano wyniki pomiarów maksymalnego napięcia indukcji i tła oraz wyznaczonej podatności dla wybranych próbek, obliczonej przez porównanie do próbki wzorcowej przy użyciu zależności

$$\frac{\chi_x m_x}{3V_{wz}} = \frac{U_{max,x} - U_{bg,x}}{U_{max,wz} - U_{bg,wz}} \quad (3)$$

Za wzorcową przyjęto próbkę niklu. Dla tejże próbki:

$$\begin{aligned} V_{kulki} &= 160,3 \text{ [mg]} \\ m_{kulki} &= 18 \text{ [mm}^3\text{]} \end{aligned}$$

$$\chi_{Ni} = 3 \frac{V_{kulki}}{m_{kulki}} = 0,0003369 \left[\frac{m^3}{kg} \right] \quad (4)$$

Tabela 1: Wyniki pomiarów i obliczeń części B

Próbka	m [mg]	U_x [mV]	U_{bg} [mV]	χ_{pomiar} [$\mu m^3/kg$]	χ_{teoria} [$\mu m^3/kg$]
Gd ₂ O ₃	216,5	25,8	22,0	1,38	1,74
Dy	82,2	8,77	7,90	8,31	7,55

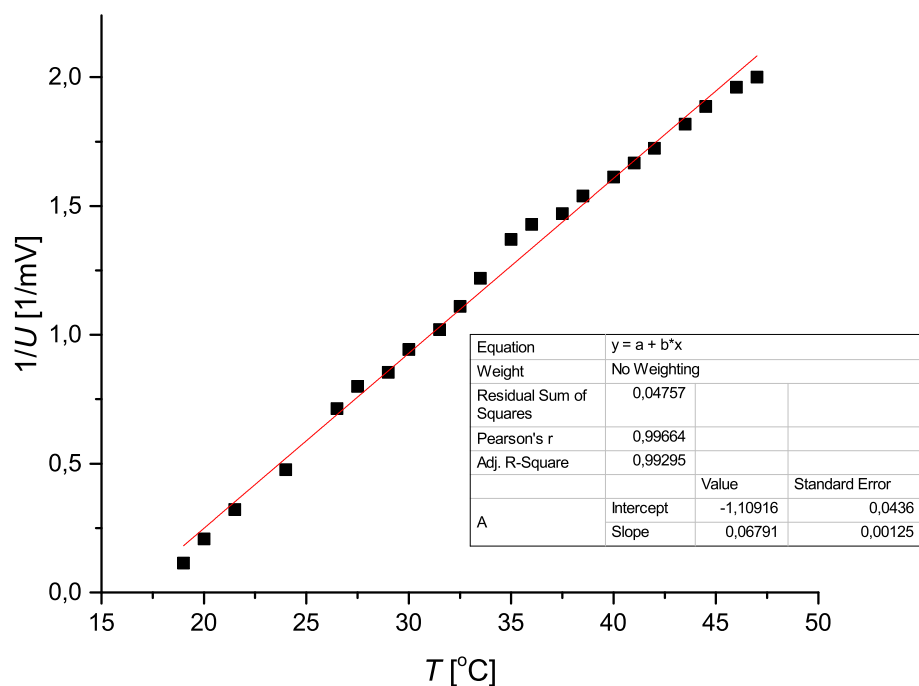
C - zależność podatności od temperatury

Dla próbki Gd zmierzono indukowane napięcie w zależności od temperatury dla temperatur w zakresie (19-49) °C. Od wyników odjęto zmierzone bezpośrednio przed pomiarem tło $U_{bg} = 23,7$ mV. Na wykresie 2 przedstawiono zależność odwrotności indukowanego napięcia w funkcji temperatury. Napięcie to jest proporcjonalne do podatności χ . Do wykresu dopasowano prostą korzystając z programu Origin. Wartość, dla której przecina ona oś temperatur jest temperaturą Curie dla danej próbki Gd.

$$T_{Curie} = \frac{-b}{a} = 16,33 \text{ } ^\circ\text{C},$$

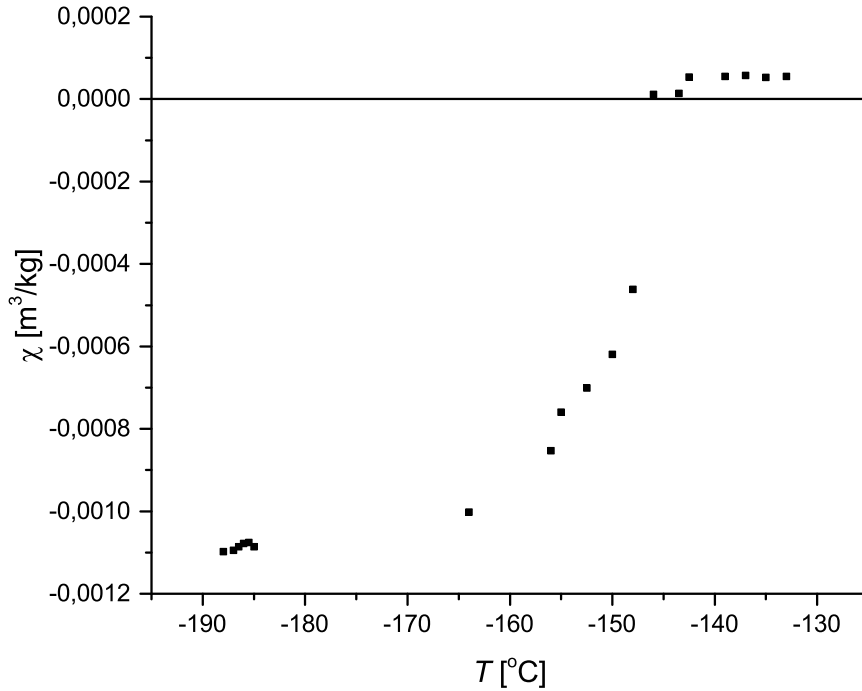
gdzie a i b to współczynniki dopasowania prostej $y = ax + b$, wynoszące odpowiednio

$$a = 0,06791[1/\text{mV} \cdot ^\circ\text{C}] \quad b = -1,10916[1/\text{mV}]$$



Rysunek 2: Zależność odwrotności indukowanego napięcia (odczyt po odjęciu tła) w zależności od temperatury dla próbki Gd.

Pomiar dla próbki nadprzewodnika TL-3 wykonano zaczynając od temperatury wrzenia ciekłego azotu, a zakończono kilka punktów po gwałtownej zmianie, charakterystycznej dla nadprzewodników. Wyniki obliczeń podatności zebrano w tabeli 3 oraz przedstawiono na wykresie 3. Zaobserwowano gwałtowny zanik podatności w okolicy $-153 \text{ } ^\circ\text{C}$ co sugeruje, iż nastąpiło przejście fazowe w próbce.



Rysunek 3: Zależność indukowanego napięcia w funkcji pozycji próbki Ni w układzie detekcyjnym.

Podsumowanie

W pierwszej części doświadczenia wyznaczono charakterystykę układu i przedstawiono ją na wykresie 1. Wynika ona z budowy układu, mianowicie z potrzeby ekranowania pola magnetycznego wytwarzanego bezpośrednio przez prąd z generatora w miejscu cewek miernika.

Następnie wyznaczono podatności magnetyczne próbek Gd_2O_3 oraz Dy:

	χ_{pomiar} [$\mu m^3/kg$]	χ_{teoria} [$\mu m^3/kg$]
Gd_2O_3	1,38	1,74
Dy	8,31	7,55.

Wyznaczono również temperaturę Curie dla próbki gadolinu:

$$T_{Curie,x} = 16,3 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad T_{Curie,tab} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

oraz sporządzono wykres podatności w funkcji temperatury dla nadprzewodnika TL-3, na którym zaobserwowano przejście fazowe dla $T_C \approx -153 \text{ }^\circ\text{C}$. Dla wyższych temperatur $\chi \approx 0 \text{ [m}^3/\text{kg]}$, a dla niższych $\chi \approx 0,0011 \text{ [m}^3/\text{kg]}$.

Porównując z wartościami tablicowymi (źr. [2]) wyniki można uznać za zadowalające. Mierzone wartości były bardzo małe, porównywalne z tłem. Jest to znaczne utrudnienie pomiaru i błędy mogą wynikać z niedokładności odczytu zarówno indukowanego napięcia jak i tła.

Literatura

- [1] Łukasz Gondek, Marcin Sikora, Joanna Czub: *Laboratorium Fizyki Fazy Skondensowanej*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2014

- [2] Tablice podatności magnetycznej χ dostępne [18.11.2015] pod linkiem <http://www.fizyka.si/magnetism/MagSusceptibilities.pdf>
- [3] Opis ćwiczenia dostępny w laboratorium.

Aneks

Tabela 2: Pomiary napięcia wskazywanego przez aparaturę w zależności od temperatury dla próbki Gd. Temperaturę przeliczono na $^{\circ}\text{C}$ za pomocą tabeli ze źródła [3]. Gdzie napięcie $U_{bg} = 23,7 \text{ mV}$.

$1/(U_x - U_{bg})$ [1/mV]	T [$^{\circ}\text{C}$]
0,113	19,0
0,208	20,0
0,322	21,5
0,476	24,0
0,714	26,5
0,800	27,5
0,854	29,0
0,943	30,0
1,020	31,5
1,111	32,5
1,219	33,5
1,369	35,0
1,428	36,0
1,470	37,5
1,538	38,5
1,612	40,0
1,666	41,0
1,724	42,0
1,818	43,5
1,886	44,5
1,960	46,0
2,000	47,0
2,127	48,0
2,173	49,0

Tabela 3: Pomiary napięcia wskazywanego przez aparaturę w zależności od temperatury dla próbki TL-3. Temperaturę przeliczono na °C za pomocą tabeli ze źródła [2]

χ [m ³ /kg]	T [°C]
-0,001098	-188
-0,001094	-187
-0,001086	-186,5
-0,001078	-186
-0,001075	-185,5
-0,001086	-185
-0,001002	-164
-0,0008526	-156
-0,0007591	-155
-0,0007007	-152,5
-0,0006190	-150
-0,0004613	-148
$1,1679 \cdot 10^{-5}$	-146
$1,4015 \cdot 10^{-5}$	-143,5
$5,3727 \cdot 10^{-5}$	-142,5
$5,4895 \cdot 10^{-5}$	-139
$5,7231 \cdot 10^{-5}$	-137
$5,2559 \cdot 10^{-5}$	-135
$5,4895 \cdot 10^{-5}$	-133