

Wydział: Fizyki	Dzień: Poniedziałek 14-17 Data: 20.03.2017		Zespół: 8
Imiona i nazwiska: Marta Pogorzelska Paulina Marikin	Ocena z przygotowania:	Ocena ze sprawozdania:	Ocena końcowa:
Prowadzący:		Podpis:	

Ćwiczenie 20: Badanie właściwości magnetycznych ciał stałych

1 Cel badań

Zapoznanie się z właściwościami magnetycznymi ciał stałych oraz wyznaczenie temperatury Curie dla rdzenia ferromagnetycznego w transformatorze.

2 Wstęp teoretyczny

Magnetyzm jest to zjawisko i właściwości fizyczne materii związane z oddziaływaniem ciał poprzez pole magnetyczne. Jego źródłem mogą być naładowane ciała, np.: magnes, pojedyncze cząsteczki lub przewodniki z prądem. Ze względu na sposób oddziaływania danego ciała na zewnętrzne pole magnetyczne można podzielić je na: ferromagnetyki, paramagnetyki, diamagnetyki, anty-ferromagnetyki oraz ferrimagnetyki. Jednostką opisującą stopień w jakim dane ciało wykazuje zdolności magnetyczne jest magnetyzacja lub namagnesowanie - \vec{M} . Wyraża się ona wzorem:

$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \vec{\mu}_i \quad (1)$$

,gdzie V – objętość, $\vec{\mu}_i$ - elementarny moment magnetyczny.

Zarówno ferromagnetyki i paramagnetyki posiadają niezerowy moment magnetyczny, ale tylko ferromagnetyki charakteryzują się istnieniem wewnętrznego pola magnetycznego porządkującego spiny, co objawia się niezerowym namagnesowaniem jego próbek. Podczas gdy spiny paramagnetyków niezależnie od temperatur pozostają nieuporządkowane a ich kierunki są całkowicie przypadkowe. Wraz ze wzrostem temperatury ferromagnetyka, wzrastają chaotyczne fluktuacje spinów. Temperatura w której fluktuacje całkowicie niszczą wewnętrzne domeny magnetyczne, zaś ferromagnetyk przechodzi do fazy paramagnetycznej jest nazywana temperaturą Curie. Jest to zwane przejściem fazowym drugiego rodzaju. W celu uporządkowania układu momentów magnetycznych ferromagnetyka w fazie paramagnetycznej można przyłożyć wystarczająco silne zewnętrzne pole magnetyczne albo obniżyć temperaturę danej próbki. Skutkuje to ponownym powstaniem coraz większych wraz ze zmniejszeniem temperatury domen magnetycznych.

Jak wspomniano wyżej, jednym ze sposobów na uporządkowanie układu spinów jest przyłożenie zewnętrznego pola magnetycznego. Wielkością charakteryzującą jego reakcję na takie pole jest podatność

magnetyczna i wyraża się ona wzorem:

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (2)$$

,gdzie H - natężenie pola magnetycznego. W danym doświadczeniu podatność jest badana pośrednio przez napięcie wtórne, zależne od niej liniowo:

$$U = U_0 + AM(T) \quad (3)$$

gdzie A to dowolna stała.

Z prawa Curie-Weissa wiemy że:

$$\chi = \frac{C}{T - \theta} \quad (4)$$

,gdzie C - stała Curie-Weissa, T - temperatura próbki, θ - temperatura Curie-Weissa.

Opisana powyżej podatność jest proporcjonalna do napięcia wtórnego na transformatorze, które będzie mierzone w tym doświadczeniu i indukcyjności opisanej przez zależność:

$$B = \mu_0 H + \mu_0 M(T) \quad (5)$$

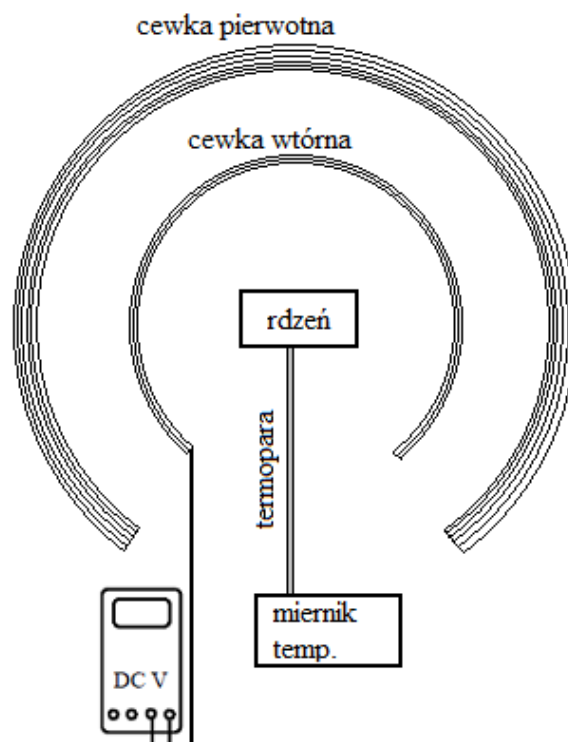
W celu wyznaczenia θ przekształcamy wzór (3) i otrzymujemy:

$$\frac{1}{\chi} = \frac{1}{C}T - \frac{\theta}{C} \quad (6)$$

Przedstawiona zależność odwrotności podatności od temperatury jest zależnością liniową.

3 Opis układu i metody pomiarowej

Doświadczenie polegało na wyznaczeniu, za pomocą serii pomiarów napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora w zależności od temperatury, temperatury Curie dla ferromagnetycznego rdzenia tego transformatora. Po włączeniu komputera i specjalnego programu należało rozgrzać grzałkę najpierw do 20% jej mocy i odnotować kilka pomiarów napięcia dla danej temperatury. Następnie ustawiono moc grzałki na 70%, odnotowano kilka pomiarów dla nowej temperatury, a następnie pozostawiono układ na ok 1,5 godziny w celu osiągnięcia przez grzałkę oczekiwanej temperatury. Po upływie czasu dokonywano pomiarów co minutę, za każdym razem podwyższając moc grzałki o 1% i powtarzając czynność aż moc wyniesie 100%. Na koniec obniżono moc grzałki w celu wychłodzenia układu i po odczekaniu chwili wyłączono komputer oraz odłączono układ od prądu.



Na przedstawiony powyżej układ użyty w doświadczeniu składa się: źródło prądu zmiennego, uzwojenie pierwotne transformatora n_p , uzwojenie wtórne transformatora n_w , ferromagnetyczny rdzeń, termometr elektroniczny podłączony do próbki, woltomierz cyfrowy oraz grzałka. Całość układu podłączona jest do komputera ze specjalnym oprogramowaniem, dzięki któremu można zmieniać moc grzałki oraz który archiwizuje otrzymane wyniki i nanosi je na wykres zależności napięcia od temperatury.

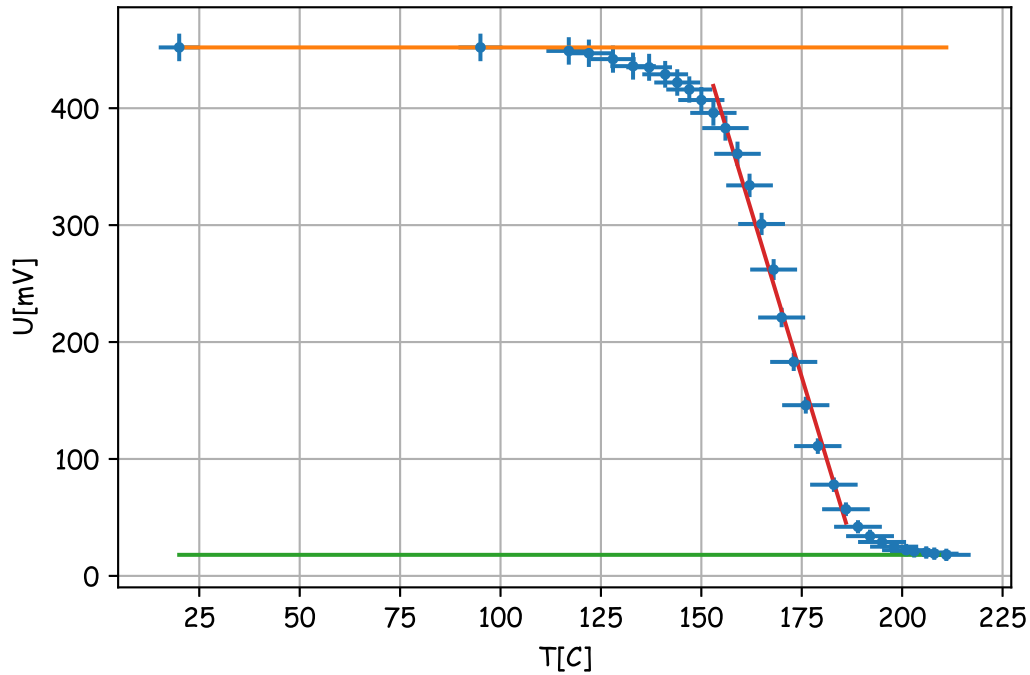
4 Wyniki i analiza pomiarów

4.1 Wyznaczanie temperatury Curie

Tabela danych pomiarowych wraz z niepewnościami.

	T[°C]	ΔT [°C]	U[mV]	ΔU [mV]
0	20.0	5.100	452.0	11.780
1	95.0	5.475	452.0	11.780
2	117.0	5.585	449.0	11.735
3	122.0	5.610	447.0	11.705
4	128.0	5.640	442.0	11.630
5	133.0	5.665	436.0	11.540
6	137.0	5.685	435.0	11.525
7	141.0	5.705	429.0	11.435
8	144.0	5.720	422.0	11.330
9	147.0	5.735	416.0	11.240
10	150.0	5.750	407.0	11.105
11	153.0	5.765	396.0	10.940
12	156.0	5.780	383.0	10.745
13	159.0	5.795	361.0	10.415
14	162.0	5.810	334.0	10.010
15	165.0	5.825	301.0	9.515
16	168.0	5.840	262.0	8.930
17	170.0	5.850	221.0	8.315
18	173.0	5.865	183.0	7.745
19	176.0	5.880	146.0	7.190
20	179.0	5.895	111.0	6.665
21	183.0	5.915	78.0	6.170
22	186.0	5.930	57.0	5.855
23	189.0	5.945	42.0	5.630
24	192.0	5.960	34.0	5.510
25	195.0	5.975	29.0	5.435
26	198.0	5.990	25.0	5.375
27	201.0	6.005	22.0	5.330
28	203.0	6.015	21.0	5.315
29	206.0	6.030	20.0	5.300
30	208.0	6.040	19.0	5.285
31	211.0	6.055	18.0	5.270

W celu wyznaczenia temperatury Curie powyższe pomiary zostały przedstawione na rysunku 3:



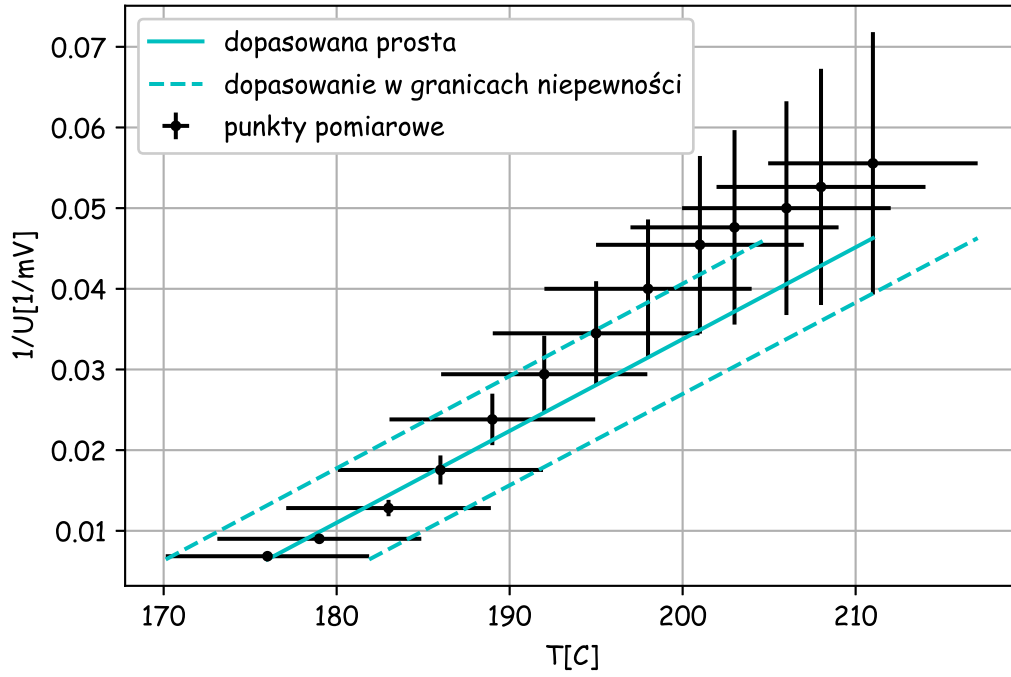
Rysunek 1: Wykres zależności $U(T)$ z prostymi dla maksymalnego i minimalnego napięcia oraz prostą dopasowaną do najostrzejszej części wykresu

Na wykresie 1 wartości napięcia utrzymują mniej-więcej (w zakresie błędów pomiarowych) stały poziom dla temperatur poniżej 128°C (452mV - wynikający z maksymalnego namagnesowania rdzenia) i temperatur powyżej 201°C (18mV). Prosta dopasowana do pomiarów z najwyższym spadkiem leży najpierw poniżej, a następnie powyżej punktów pomiarowych i przechodzi przez nie w temperaturze $T = 170^{\circ}\text{C}$, którą w związku z tym możemy uznać za temperaturę Curie.

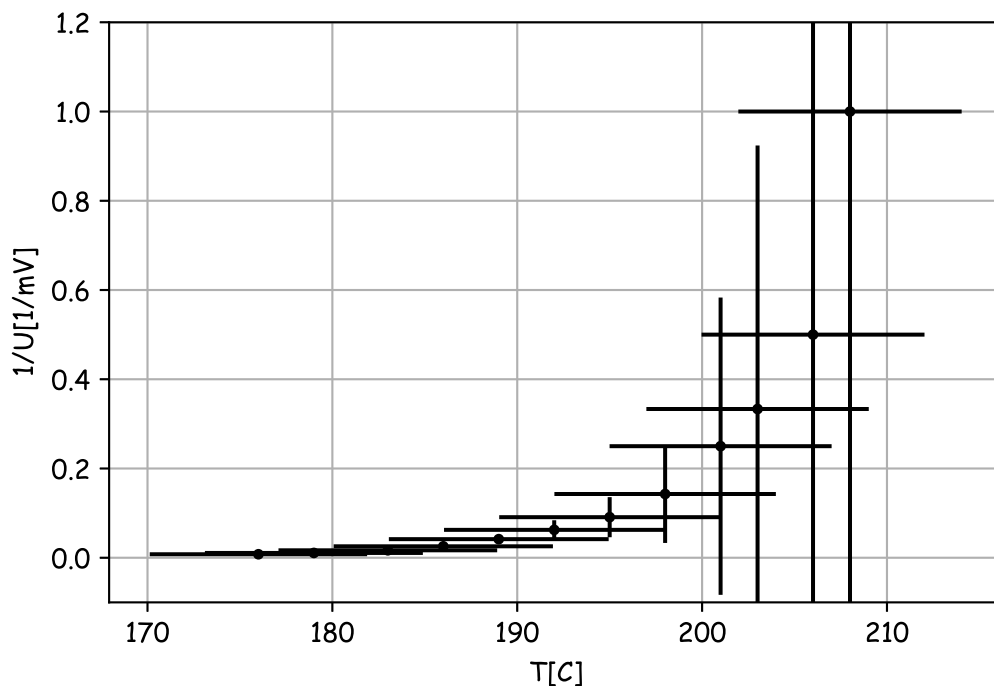
4.2 Wyznaczanie temperatury Curie-Weissa

Aby sprawdzić prawdziwość prawa Curie-Weissa oraz w celu wyznaczenia temperatury θ pomiary przekształcono na sposób zaprezentowany w poniższej tabeli oraz przedstawiono na wykresach, które, zgodnie z prawem Curie-Weissa, powinny przedstawiać zależność liniową.

	$T[^\circ\text{C}]$	$\Delta T[^\circ\text{C}]$	$\frac{1}{U}[\frac{1}{\text{mV}}]$	$\Delta \frac{1}{U}[\frac{1}{\text{mV}}]$	$\frac{1}{U-U_{\min}}[\frac{1}{\text{mV}}]$	$\Delta \frac{1}{U-U_{\min}}[\frac{1}{\text{mV}}]$
1	170	5.850	221	1.702e-04	0.005	2.018e-04
2	173	5.865	183	2.313e-04	0.006	2.845e-04
3	176	5.880	146	3.373e-04	0.008	4.388e-04
4	179	5.895	111	5.409e-04	0.011	7.706e-04
5	183	5.915	78	1.014e-03	0.017	1.714e-03
6	186	5.930	57	1.802e-03	0.026	3.849e-03
7	189	5.945	42	3.192e-03	0.042	9.774e-03
8	192	5.960	34	4.766e-03	0.062	2.152e-02
9	195	5.975	29	6.463e-03	0.091	4.492e-02
10	198	5.990	25	8.600e-03	0.143	1.097e-01
11	201	6.005	22	1.101e-02	0.250	3.331e-01
12	203	6.015	21	1.205e-02	0.333	5.906e-01
13	206	6.030	20	1.325e-02	0.500	1.325e+00
14	208	6.040	19	1.464e-02	1.000	5.285e+00
15	211	6.055	18	1.627e-02	inf	inf



Rysunek 2: Wykres zależności $\frac{1}{U}(T)$ dla fazy paramagnetyka



Rysunek 3: Wykres zależności $\frac{1}{U-U_{min}}(T)$ dla fazy paramagnetyka

Do wykresu 4 dopasowano prostą przy użyciu funkcji *polyfit*, biblioteki *numpy* w Pythonie, z użyciem wag $\frac{1}{dy}$

5 Analiza niepewności

Niepewności pomiarów temperatury została wyliczona jako iloczyn danego pomiaru i klasy urządzenia pomiarowego(0.005) + 5°C Niepewności napięcia wyliczono tożsamą metodą dla klasy 0.01 i dodając 1mV. Metody użyte w analizie wyników nie były ściśle analityczne, co nie pozwala na bezpośrednie wyliczenie niepewności jednak można ją oszacować jako przedział maksymalnego spadku na 18c° Pozostałe niepewności na wykresach zostały wyliczone przy użyciu metody propagacji niepewności.

6 Wnioski

Wyznaczona temperatura Curie wynosi 170(18)C°, jednak biorąc pod uwagę niepewność temperatury Curie, metoda, której użyto w tym doświadczeniu jest niedokładna i nie nadaje się do jej wyznaczenia. Zależności wyliczone na podstawie wzoru (4) i przedstawione na wykresie (2) pasują do wykresu jednak niepewności punktów pomiarowych są zbyt duże by stanowiło to potwierdzenie tezy. Wykres (3) nie nadaje się do analizy ze względu na zbyt duże niepewności i nie pozwala na potwierdzenie bądź odrzucenie tezy.