

Wydział	Imię, Nazwisko 1. 2.		Rok	Grupa	Zespół
Pracownia Fizyczna WFiIS AGH	<b>Pomiar pętli histerezy i temperatury Curie ferromagnetyka</b>				Nr. Ćwiczenia <b>39</b>
Data wykonania	Data oddania	Zwrot do poprawy	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

## 39. Pomiar pętli histerezy i temperatury Curie ferromagnetyka

### Cel ćwiczenia:

Pomiar pętli histerezy i temperatury Curie ferromagnetyka w postaci pierścienia ferrytowego z nawiniętymi dwoma uzwojeniami.

### Pytania kontrolne

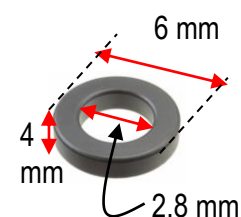
1. Co to jest ferromagnetyk?
2. Omów jak powstaje pętla histerezy ferromagnetyka
3. Jakie oddziaływania wywołują uporządkowanie momentów magnetycznych ferromagnetyka, a jakie pojawienie się domen magnetycznych?
4. Czym różni się pole H od pola B ?
5. Co to jest temperatura Curie?
6. Podaj prawo indukcji Faradaya i opisz zasadę pomiaru pola B w ćwiczeniu.

## 1. Układ pomiarowy

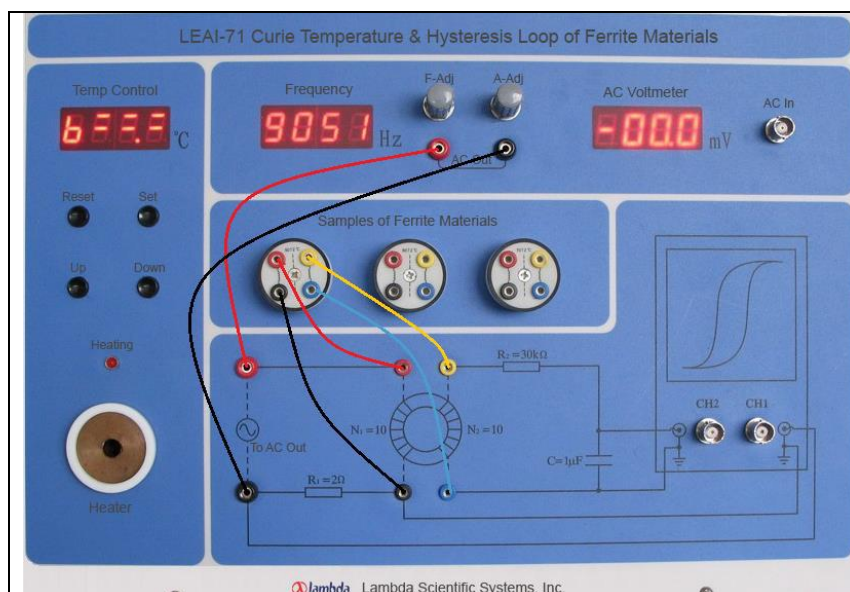
Rdzeń ferrytowy z nawiniętymi dwoma uzwojeniami: magnesującym i wtórnym - przez pierwsze uzwojenie płynie zmienny prąd magnesujący (wytwarzający natężenie pola magnetycznego  $H$ ), w drugim indukuje się siła elektromotoryczna (zależna od indukcji magnetycznej  $B$ ). Na oscyloskopie obserwuje się  $B$  vs.  $H$  (krzywa magnesowania). Próbka może być także podgrzewana do  $80^{\circ}\text{C}$  i wtedy  $B$  maleje do 0 (czyli temperatura próbki przekracza  $T_C$ )

Układ pomiarowy :

1. Trzy próbki ferrytowe w postaci pierścieni (niewidocznych), zamocowane na sztyftach z podłączeniami (na Rys.2. podłączona jest pierwsza z nich – *Samples of ferrite materials*). Kształt i wymiary pierścieni podano na rys. 1.
2. Źródło prądu zmiennego zasilającego cewkę magnesującą  $N_1$ , regulowane pokrętką częstotliwości F-Adj. (od 7500 Hz do 9500 Hz) i napięcia A-Adj (od 0 do 2.5V).
3. Woltomierz prądu zmiennego AC-Voltmeter (0 ~ 199.9 mV), który przez gniazdem wejściowe można podłączyć do oscyloskopu.
4. Piecyk (Heater), do którego można włożyć sztyft z pierścieniem ferrytowym i moduł ustawiania i kontroli temperatury (Temp Control, Reset, Set, Up, Down; od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $80^{\circ}\text{C}$ )
5. Częściowo połączony układ elektryczny (do układu należy podpiąć aktualnie badaną próbkę i oscyloskop)



Rys. 1. Pierścień ferrytowy, jeden z trzech użytych w ćwiczeniu



Rys. 2. Zewnętrzny wygląd układu pomiarowego wraz z poprawnie połączonymi przewodami. Gniazda BNC CH1 i CH2 należy połączyć do wejścia X i Y oscyloskopu (część A i B ćwiczenia), lub gniazdo CH2 do wejścia AC In wbudowanego woltomierza cyfrowego.

## 2. Wykonanie ćwiczenia

### Część A. Obserwacja i pomiar dynamicznej pętli histerezy miękkiego ferrytu

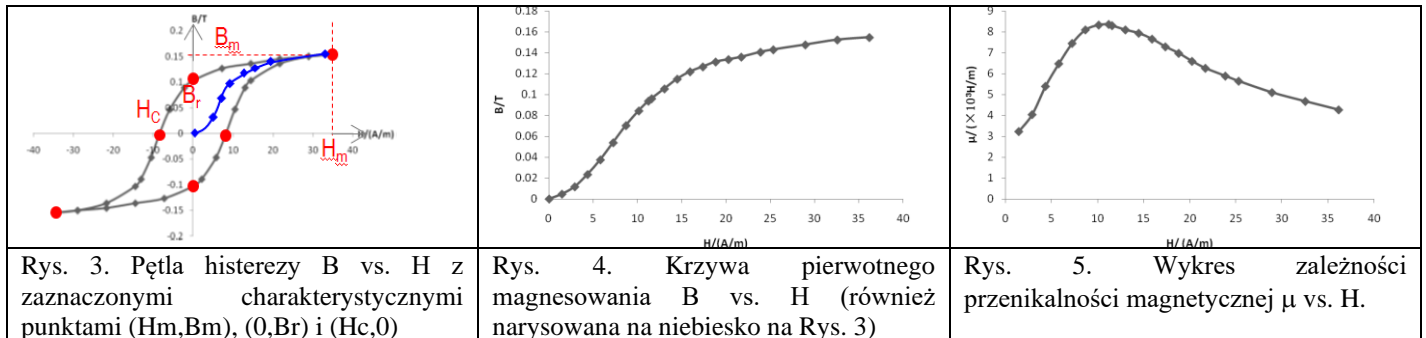
1. Wybierz próbkę (A, B lub C) do przetestowania i zapoznaj się z rysunkiem 2, aby poprawnie podłączyć przewody.

UWAGA:

- Przed włączeniem zasilania należy sprawdzić poprawność okablowania. Po zakończeniu eksperymentu wyłącz zasilanie **przed usunięciem okablowania**;
- Przed rozpoczęciem eksperymentu należy włączyć zasilanie i rozgrzewać urządzenie przez 10 minut;

- Nie zwieraj bezpośrednio dwóch końców wyjścia zasilania AC, aby uniknąć uszkodzenia zasilacza.

3. Na oscyloskopie należy wybrać tryb pracy kanałów „x-y” (patrz: skrócona instrukcja oscyloskopu). Wówczas sygnał z CH1 (podany na wejście X oscyloskopu) będzie proporcjonalny do natężenia pola magnesującego rdzeń  $H$ , a sygnał z CH2 (podany na wejście Y oscyloskopu) będzie proporcjonalny do indukcji magnetycznej  $B$  wytworzonej przez rdzeń.
4. Ustal częstotliwość generatora na ok 9000Hz (pokrętle F-Adj.) i przy napięciu 0V zaobserwuj punkt na oscyloskopie. Następnie powoli zwiększaj napięcie (A-Adj) obserwując pojawiającą się pętlę histerezy. Zwiększaj napięcie do chwili, gdy krzywa histerezy prawie się wypłaszczy na końcach, ale będzie w całości widoczna na ekranie oscyloskopu: odpowiada to sytuacji, gdy wszystkie momenty magnetyczne rdzenia ustawione są w jednym kierunku (na wykresie pkt ( $B_m, H_m$ ) jak na rys.3). ( $H$  i  $B$  odczytane z oscyloskopu będą w jednostkach napięcia).



5. Korzystając z menu oscyloskopu, odczytaj i zanotuj położenia punktów ( $B_i, H_i$ ) na pętli histerezy dla sześciu punktów charakterystycznych zaznaczonych na rys.3. – w opracowaniu wyników odpowiednie napięcia należy przeliczyć przy pomocy wzorów (1), (2) i (3) na odpowiadające im wartości  $B_i$  i  $H_i$  (i  $B_m$  i  $H_m, B_r$  i  $H_c$ ) w odpowiednich jednostkach. Wyniki wpisz do Tabeli 1. Ta tabela wraz z odpowiednim rysunkiem  $B$  vs.  $H$ , jest podstawą do uzyskania celu tego ćwiczenia.

6. Jeśli **nie dostałeś** polecenia wykonania części B, przejdź od razu do części C.

### Część B. Pomiar pierwotnej krzywej magnesowania próbki.

Jeśli nie dostałeś takiego polecenia, przejdź do punktu C.

1. Powoli zmniejszaj prąd magnesujący (A-Adj.) od dużego do zera; w ten sposób rozmagnesujesz rdzeń do zera.
2. Zaczynając od zera, zwiększaj prąd magnesujący (pokrętle A-Adj.) zapisując wierzchołki ( $B_m$ , i  $H_m$ ) różnych pętli histerezy od małego prądu do dużego, aby utworzyć pierwotną krzywą magnesowania (zależność  $B$  vs.  $H$ , patrz Rys. 4) ferrytu i krzywą zależności między przenikalnością magnetyczną a natężeniem pola magnetycznego (krzywa  $\mu$  vs.  $H$ , Rys. 5), gdzie  $\mu=B/H$ .
3. Po zakończeniu pomiarów upewnij się, że pokrętko zmian napięcia zmiennego A-Adj. jest ustawione na 0

### Część C. Pomiar temperatury Curie $T_c$ próbki

1. Upewniwszy się, że napięcie zmienne jest =0 (pokrętko A-Adj. skręcone w lewo do oporu) przepnij kabel BNC z wejścia Y oscyloskopu na woltomierz AC-in. Reszta układu pomiarowego nie ulega zmianie.
2. Ustaw częstotliwość prądu magnesującego na około 9000 Hz. Zwiększ napięcie zasilające aż  $u_2$  (czyli  $B$ ) osiągnie nasycenie.
3. Włóż badaną próbkę do piecyka (otwór w grzałce). Ustaw temperaturę 80°C: W tym celu:
  - Naciśnij przycisk "Reset", gdy miernik wyświetli "b==.=";
  - naciśnij przycisk "up" i czekaj, aż wyświetlacz wskaże 80°C
  - Następnie naciśnij przycisk "Set", aby rozpocząć proces ogrzewania; dioda LED "Heating" miga. Teraz miernik regulatora temperatury wyświetla "AXX.X", tj. rzeczywistą temperaturę w komorze grzewczej.
  - Ponowne naciśnięcie przycisku "Set" spowoduje wyświetlenie poprzednio ustawionej wartości temperatury.



Tabela 3. Wyniki dotyczące pomiaru temperatury Curie. Odczyt  $u_2$  na wbudowanym woltomierzu cyfrowym.

$t$ [°C]																			
$u_2$ [mV]																			

#### 4. Opracowanie wyników pomiarów

##### Część A.

Uzyskane w ćwiczeniu wyniki w postaci napięć odczytanych z oscyloskopu należy przeliczyć na natężenie pola magnetycznego  $H$ , pole magnetyczne  $B$  i względną przenikalność magnetyczną  $\mu$  wg. wzorów (uzasadnionych i wyprowadzonych w Części 1 opisu ćwiczenia) uzupełniając w ten sposób tabele 1, 2 i 3 z wynikami pomiarowymi:

$$B = \mu_0 (H + M) = (\chi_m + 1)\mu_0 H = \mu_r \mu_0 H = \mu H \quad (1)$$

gdzie  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m to przenikalność próżni,  $\chi_m$  to podatność magnetyczna,  $\mu_r$  to przenikalność względna (bezwymiarowy współczynnik), a  $\mu$  to przenikalność bezwzględna.

$$H = \frac{N_1 \cdot u_1}{l \cdot R_1}, \quad (2)$$

gdzie:

- $u_1$  jest napięciem na rezystorze  $R_1$  ( $R_1 = 2\Omega$ ) mierzonym w kanale CH1 oscyloskopu,
- $N_1$  ( $N_1 = 10$ ) to liczba zwojów uzwojenia magnesującego rdzeń ferrytowy,
- $l$  ( $l = 13.8\text{mm}$ ) to średnia długość obwodu pierścienia ferrytowego.

$$B = \frac{R_2 C u_2}{N_2 S}, \quad (3)$$

gdzie:

- $R_2$  ( $R_2 = 300\Omega$ ) jest oporem w obwodzie do pomiaru  $u_2$  (Rys. 2)
- $C$  ( $C = 1 \mu\text{F}$ ) jest pojemnością kondensatora z którego napięcie  $u_2$  jest obrazowane na kanale CH2 oscyloskopu
- $N_2$  ( $N_2 = 10$ ) jest liczbą zwojów na pierścieniu ferrytowym (Rys. 2)
- $S$  ( $S = 6.4 \text{mm}^2$ ) jest polem przekroju poprzecznego pierścienia ferrytowego (tj. także powierzchnią cewki o  $N_2$  zwojach).

##### Część B.

Korzystając z tabel 1, 2 i 3 wykreślić zależności  $B$  vs.  $H$  (pętla histerezy), wykres krzywej pierwotnego magnesowania (jeśli wykonywano tę część ćwiczenia), wykres przenikalności magnetycznej  $\mu$  vs.  $H$  i wykres  $u_2$  (wielkości proporcjonalnej do namagnesowania rdzenia i odczytanej na woltomierzu cyfrowym) w funkcji temperatury.



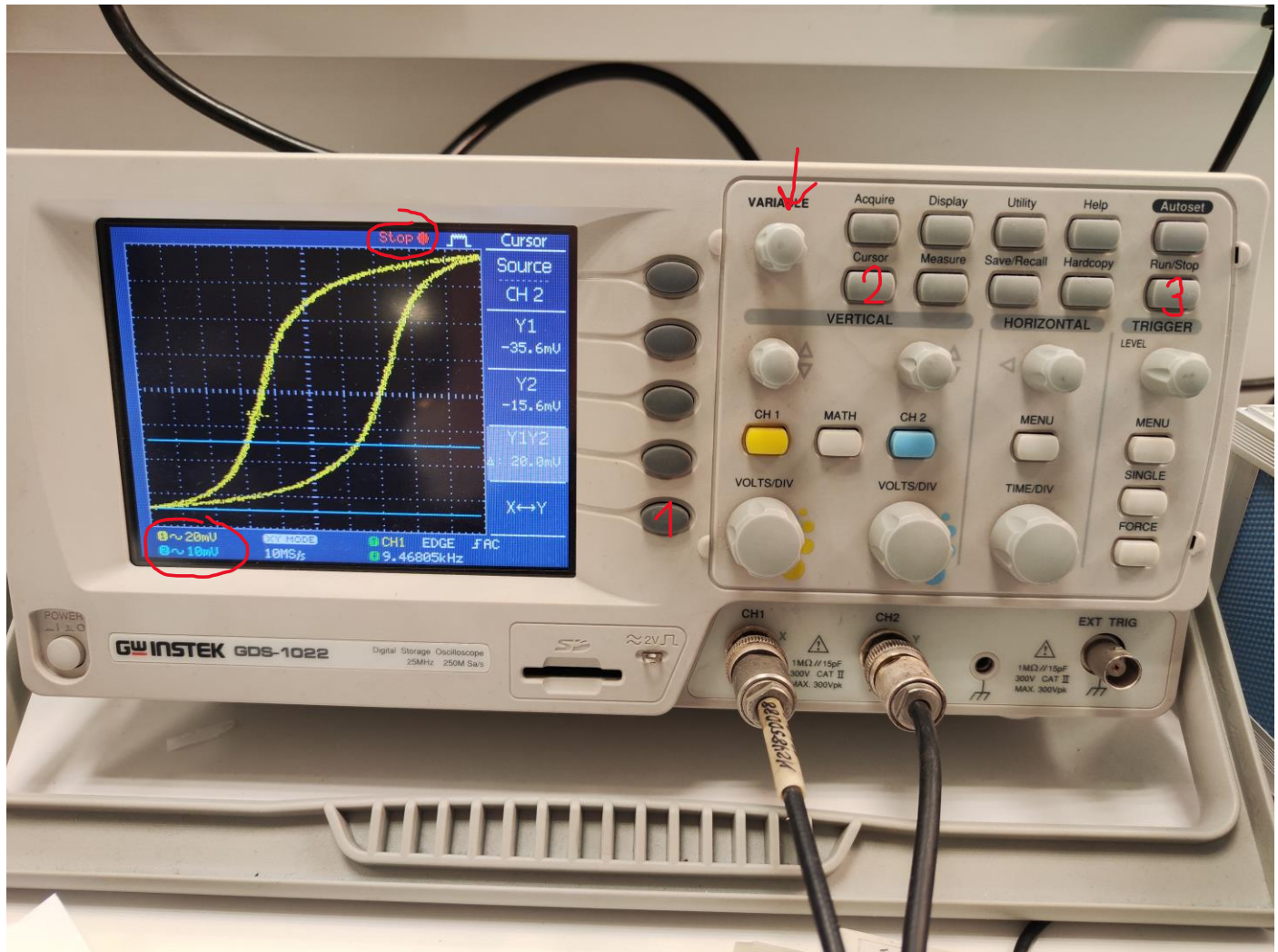
### Część C.

Na podstawie wykresu  $u_2$  vs.  $T$  wyznaczyć temperaturę Curie  $T_c$  badanej próbki i oszacować jej niepewność.

### Część D.

Znaleźć w źródłach elektronicznych zależności  $B$  vs.  $H$  dla magnesów wskazanych przez prowadzącego ćwiczenie i narysować odpowiednie wykresy pod pętlą histerezy mierzonego rdzenia (najprawdopodobniej znajdzie konieczność zamiany jednostek na SI, ponieważ w opisie magnesów najczęściej stosuje się jednostki cgs).

## Oscyloskop



- jasnoniebieskie poziome linie na ekranie to linie znaczników do pomiaru – ich położenia można odczytać po prawej stronie wyświetlacza, a zmieniać położenie wciskając przycisk 2 "cursor", a następnie przy pomocy pokrętła "variable"
- aby zmienić poziome znaczniki Y na pionowe X – należy wcisnąć przycisk 1
- obraz histerezy można „zatrzymać” do pomiaru naciskając przycisk 3 – TRIGGER – wówczas u góry ekranu wyświetli się "stop"
- Na dole ekranu należy pilnować stałych ustawień CH1 – 20mV i CH2 – 10mV