

**XLIV OLIMPIADA FIZYCZNA (1994/1995). Etap II, zadanie doświadczalne – D1.**

<b>Źródło:</b>	Fizyka w Szkole nr 4, 1995
<b>Autor:</b>	Andrzej Wysmołek KG OF
<b>Nazwa zadania:</b>	Wyznaczenie temperatury Curie
<b>Działy:</b>	Termodynamika
<b>Słowa kluczowe:</b>	temperatura Curie, przejście fazowe II rodzaju, ferromagnetyk,

**Zadanie doświadczalne – D1, zawody II stopnia, XLIV OF.**

Ferromagnetyki silnie oddziałują z zewnętrznym polem magnetycznym w temperaturach niższych od pewnej charakterystycznej dla każdego ferromagnetyka temperatury  $T_c$  zwanej temperaturą Curie. W miarę wzrostu temperatury, w pobliżu  $T_c$  własności magnetyczne ferromagnetyków zmieniają się drastycznie – ze stanu ferromagnetycznego przechodzą do stanu paramagnetycznego i ich oddziaływanie z zewnętrznym polem magnetycznym maleje o kilka rzędów wielkości.

Masz do dyspozycji:

- drut o własnościach ferromagnetycznych (stop chromu i aluminium),
- magnes,
- źródło prądu stałego (z możliwością regulacji),
- woltomierz,
- amperomierz,
- przewody do połączeń, elektrycznych (z końcówkami),
- kawałki stopu lutowniczego (cyna-ołów), ołowiu, cynku,
- pincetę,
- ceramiczną wkładkę do gniazd elektrycznych lub kostkę ceramiczną,
- statyw,
- papier milimetry.

Wyznacz temperaturę Curie stopu ferromagnetycznego, z którego wykonany jest drut. Przyjmij, że powyżej  $120^\circ\text{C}$  oporność drutu zależy liniowo od temperatury. Temperatura topnienia stopu lutowniczego wynosi  $170^\circ\text{C}$ , ołowiu  $327^\circ\text{C}$ , cynku  $420^\circ\text{C}$ .

Uwaga!

Przed włączeniem prądu poproś asystenta o sprawdzenie układu.

**Rozwiązanie****Część teoretyczna**

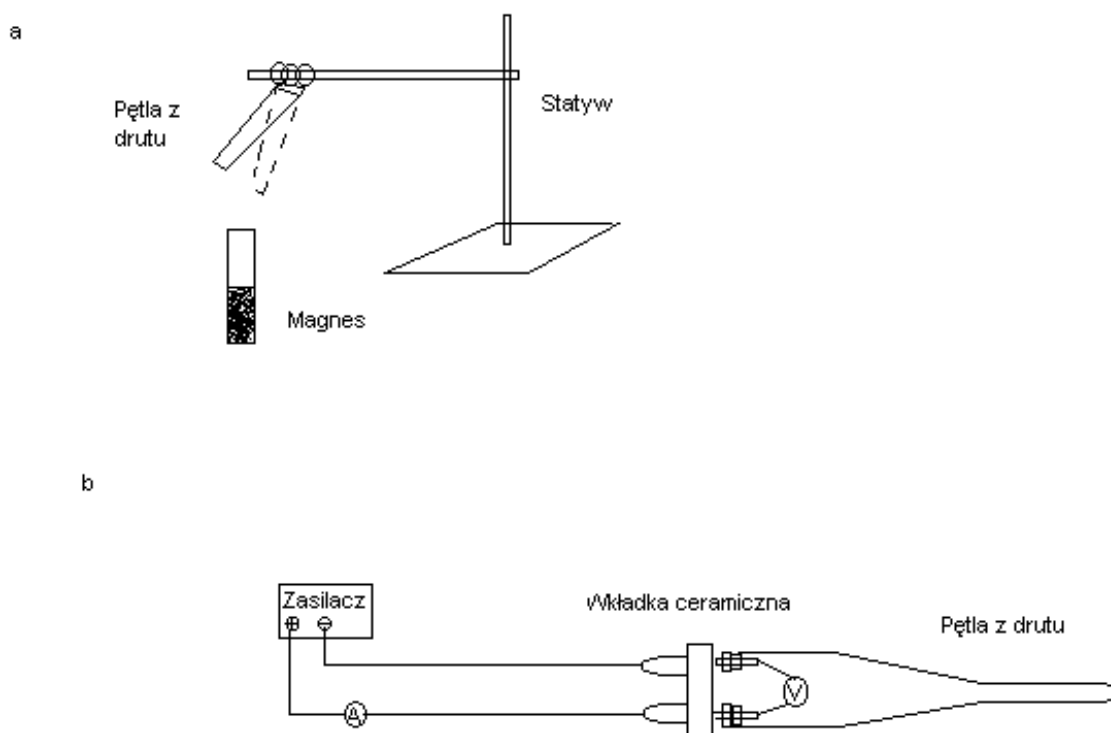
Pomysł rozwiązania zadania opiera się na spostrzeżeniu, że dla temperatur niższych od  $T_c$ , drut będzie przyciągany przez umieszczony w jego pobliżu magnes. Gdy temperatura drutu osiągnie wartość  $T_c$  drut stanie się paramagnetykiem i jego oddziaływanie z magnesem będzie trudne do zaobserwowania. Zmiany temperatury drutu można uzyskać przepuszczając przez niego prąd elektryczny. Mierząc wartość oporu drutu, odpowiadającą topnieniu kawałków indu, stopu lutowniczego, ołowiu i cynku, można wyznaczyć zależność oporu drutu od temperatury. Znajomość tej zależności, pozwala na wyznaczenie wartości temperatury, w której drut gwałtownie zmienia swe własności magnetyczne.

## Część doświadczalna

Część doświadczalna składa się z dwóch etapów. Pierwszy polega na wyznaczeniu zależności oporu drutu od temperatury. W drugim etapie wyznacza się temperaturę drutu, w której przestaje on oddziaływać z magnesem stałym.

1. Wyznaczenie zależności oporu drutu z ferromagnetyka od temperatury.

Na statywie (rysunek 1) mocujemy ceramiczną wkładkę, z kontaktami elektrycznymi, do których przykręcamy pętlę z drutu.

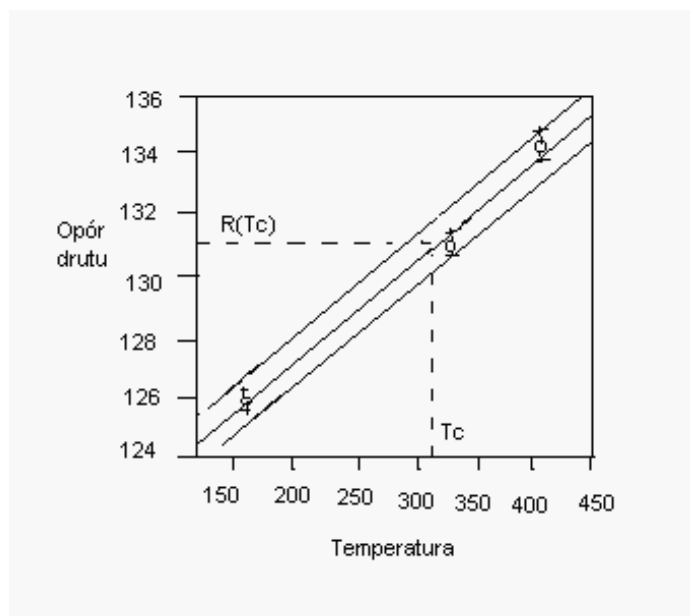


Rys.1

Drut formujemy tak, aby zminimalizować efekt oddziaływania prądu płynącego w drucie z magnesem („wąska” pętla). Zestawiamy układ elektryczny przeznaczony do pomiaru małych wartości oporów (rys.1b). Następnie za pomocą pincety nakładamy na drut kawałek (drucik) metalu o znanej temperaturze topnienia. Zwiększając natężenie prądu płynącego w drucie, uzyskujemy temperaturę, w której dochodzi do jego stopienia. Wartość prądu przy którym to nastąpi, zależy od jakości kontaktu termicznego topnienia metalu z drutem. Należy więc zadbać o to, aby kawałki topionego metalu (druciki) dobrze przylegały do pętli z drutu zmieniając temperaturę drutu bardzo wolno. Dla oszacowania błędu pomiaru temperatury topnienia metalu, należy kilkakrotnie powtórzyć eksperyment, zmieniając szybkość zmian temperatury drutu, sposób zamocowania topionych drucików oraz ich wielkość. Wyniki pomiarów oporu drutu, odpowiadające temperaturom topnienia poszczególnych metali, nanosimy na wykres. Ponieważ w treści zadania podano, że można przyjąć liniową zależność oporu drutu od temperatury, do wyników eksperymentalnych dopasowujemy zbiór prostych, które najlepiej opisują wyniki doświadczenia (rys.2). Taka procedura pozwala na ocenę błędu pomiaru temperatury na podstawie wykresu.

## 2. Wyznaczanie temperatury Curie

Regulując wysokość zamocowania drutu na statywie, ustawiamy go nad magnesem (rys.1a). Odległość drutu od magnesu dobieramy tak, aby drut ugiął się pod wpływem sił oddziaływania z magnesem. Powoli zwiększając temperaturę drutu, dochodzimy do momentu, w którym siły sprężystości drutu przewyższają siły przyciągania między drutem a magnesem. W efekcie drut oddali się od magnesu. Należy zwrócić uwagę na to, że siła oddziaływania między drutem a magnesem zależy od odległości między nimi. Dlatego eksperyment należy przeprowadzić przy możliwie małej odległości drutu od magnesu. Pozwala to na dokładniejsze wyznaczenie  $T_c$ . Z drugiej strony, odległość drutu od magnesu nie może być zbyt mała (w szczególności drut nie powinien stykać się z magnesem). Może wtedy dojść do znacznego, lokalnego obniżenia temperatury drutu, co prowadzi do zawyżenia mierzonej wartości  $T_c$ . W obawie przed znacznym obniżeniem temperatury drutu w jego części znajdującej się w pobliżu magnesu, można wykonać dodatkowy eksperyment – na chwilę zbliżyć magnes stały do drutu i obserwować jego reakcję. Dla temperatury wyższych od  $T_c$ , drut przestaje być przyciągany przez magnes. Warto zwrócić uwagę na to, że układ jest bardzo czuły na zmiany temperatury otoczenia. Jeżeli temperatura drutu jest bliska  $T_c$ , to nawet gwałtowne machnięcie ręką w pobliżu drutu, może spowodować jego ochłodzenie, wystarczające do przejścia do stanu ferromagnetycznego. Wykonując doświadczenie należy też pamiętać o oddziaływaniu prądu płynącego przez drut z polem magnetycznym magnesu.



Rys.2

Jego wpływ na wynik pomiaru  $T_c$ , można zminimalizować badając oddziaływanie drutu z magnesem dla różnych kierunków przepływu prądu. Otrzymana przez recenzenta wartość temperatury Curie dla badanego stopu wynosi  $T_c = (315 \pm 20)^\circ\text{C}$ . Błąd pomiarowy wynika głównie z niedokładności określenia temperatury przejścia ze stanu ferromagnetycznego do paramagnetycznego. Duży wpływ na wynik końcowy ma staranność wykonania pomiarów (np. powolne grzanie, zapewnienie dobrego kontaktu termicznego topionych metali z drutem, właściwy dobór odległości drutu od magnesu itp.).

Większość uczestników zawodów nie miała problemów z pomysłem rozwiązania zadania. Gorzej jednak było z wykonaniem pomiarów. Niewielu zawodników zwróciło uwagę na zapewnienie dobrego kontaktu termicznego próbek topionych metali z drutem ferromagnetycznym oraz szybkość grzania drutu. Rzadko powtarzano pomiary. Spora część

uczniów nie zwróciła uwagi na fakt iż opór wewnętrzny amperomierza był porównywalny z oporem drutu ferromagnetycznego ( $1 \div 2 \Omega$ ) i do pomiarów oporu stosowali układ poprawnie mierzonego prądu. Uczniowie nie zwracali też uwagi na oddziaływanie prądu płynącego w drucie z polem magnesu stałego. Wszystko to stało się przyczyną znacznego rozrzutu otrzymanych wartości  $T_c$ .

### Proponowana punktacja

1. Pomysł doświadczenia  
(wyznaczenie temperatury drutu, wyznaczenie temperatury Curie) do 4 pkt.
2. Wyznaczenie zależności oporu drutu od temperatury:
  - a) poprawne zastosowanie układu pomiarowego (sposób podłączenia amperomierza i woltomierza itd.) - 1 pkt.
  - b) b) wykonanie pomiarów - 2 pkt.
  - c) c) zwrócenie uwagi na zależność wyniku pomiaru oporu drutu, dla którego następuje topnienie metalu, od jakości kontaktu termicznego z drutem, wielkości, kształtu kawałków metali, szybkości grzania itp. - 3 pkt.
  - d) d) wykonanie wykresu zależności oporu drutu od temperatury (z zaznaczonymi błędami pomiarowymi) - 2 pkt.
3. Pomiar temperatury Curie:
  - a) zestawienie układu pomiarowego - 2 pkt.
  - b) b) wykonanie pomiarów - 2 pkt.
  - c) c) dbałość o dokładność pomiarów (zmiana odległości drutu od magnesu, wykonanie pomiaru przy różnych szybkościach grzania itp.) - 2 pkt.
4. Poprawny wynik końcowy wraz z analizą błędów pomiarowego - 2 pkt.