

1. Wyjaśnić, dlaczego w $T = 0$ K opór metali idealnych wynosi 0.

2. *przewodnictwo elektryczne*

W pół-klasycznym modelu przewodnictwa przyjmujemy, że elektrony w metalu poruszają się w sposób chaotyczny z b. dużymi prędkościami (rzędu prędkości Fermiego, v_F) i na ten ruch pod wpływem stałego pola elektrycznego E nakłada się powolny ruch całości gazu elektronowego z prędkością dryfu v_d . Można przyjąć, że na skutek zderzeń z defektami, fononami, itp. elektrony doznają działania efektywnej siły oporu, proporcjonalnej do prędkości dryfu $F = m/\tau v_d$, gdzie współczynnikiem proporcjonalności jest odwrotność tzw. czasu relaksacji τ , czyli czasu mijającego od zderzenia do zderzenia. Zapisać równanie kolektywnego ruchu elektronów, obliczyć prędkość dryfu w stanie ustalonym ($v_d = const$), zapisać przy jej pomocy mikroskopowe prawo Ohma oraz oporność właściwą. Obliczyć czas relaksacji i v_d w polu $E = 1$ V/cm dla miedzi ($\rho = 1.7\mu\Omega\text{cm}$, przyjmujemy 1 elektron walencyjny/atom, fcc, $a = 3.6 \text{ \AA}$) i żelaza ($\rho = 9.8\mu\Omega\text{cm}$, 2 el/at, bcc, 2.87 \AA). Obliczyć v_F dla ruchu chaotycznego z modelu elektronów swobodnych oraz średnią drogę swobodną pomiędzy zderzeniami. Uwaga: dla żelaza model elektronów swobodnych nie ma zastosowania, patrz gęstości stanów poniżej, ale pozwala uzyskać poglądowe wyniki.

3. Oporność ciekłych metali stanowi jeden z przykładów zjawiska nasycenia oporności (tzn. oporność metalu nie może być dowolnie duża). Rozpatrzmy ciekłą rtęć, jedyny ciekły metal w temp. pokojowej, o masie atomowej $A = 200.6$, gęstości $d = 13.6 \text{ g/cm}^3$ i $z = 2$ elektronach walencyjnych na atom. Oszacować odległość atomów i gęstość elektronową w ciekłej rtęci. Przy pomocy modelu elektronów swobodnych oszacować prędkość Fermiego. Jaka jest średnia droga swobodna elektronów w ciekłej rtęci, jeśli doświadczalna wartość oporności wynosi $94 \mu\Omega\text{cm}$? Jaka największą oporność może mieć w tym modelu ciekła rtęć? Wsk.: jaka jest minimalna sensowna wartość drogi swobodnej?

4. Zależność temperaturową oporności metali idealnych można opisać tzw. prawem Blocha-Grüneisena:

$$\rho(T) = \rho_0 \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^5 \int_0^{\Theta_D/T} \frac{x^5}{(\exp(x) - 1)(1 - \exp(-x))} dx \quad (1)$$

wyprowadzić zależności $\rho(T)$ w granicy niskich i wysokich temperatur.

5. *Prawo Wiedemanna-Franza*

Energię cieplną w przewodnikach transportują elektrony i fonony. W metalu, ze względu na dużą koncentrację nośników, dominuje wkład elektronowy. Obliczyć stosunek przewodnictwa cieplnego do elektrycznego dla gazu elektronowego (= wyprowadzić prawo Wiedemanna-Franza). Korzystając z tabelarycznych danych dot. przewodnictwa elektrycznego (poszukać w internecie/ podręcznikach), oraz z prawa Wiedemanna-Franza, obliczyć elektronowe przewodnictwo cieplne miedzi, sodu, litu, żelaza i porównać z wartościami doświadczalnymi /mogą być też inne metale jak znajdziecie odpowiednie dane/.

6. Wyprowadzić wzór na podatność paramagnetyczną gazu elektronowego w metalu (tzw. podatność Pauliego). Zastanowić się, dlaczego wynik jest inny, niż znany z zeszłego semestru dotyczący namagnesowania i podatności paramagnetyka.

Ad. 1. Obliczone gęstości stanów Cu i Fe:

