

TENTAMEN I FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK F3

Tid 2008 01-16 fm

Lokal M

Hjälpmedel Matematiska tabeller, Physics Handbook, TEFYMA, typgodkänd räknare eller annan räknare i fickformat dock utan inprogrammerad text eller ekvationer av intresse för tentamen. Däremot är det i sin ordning att i räknarens minne ha lagrat värden på naturkonstanter som t.ex Plancks konstant och elektronmassan.

Examinator Lars Walldén (ankn 3347)

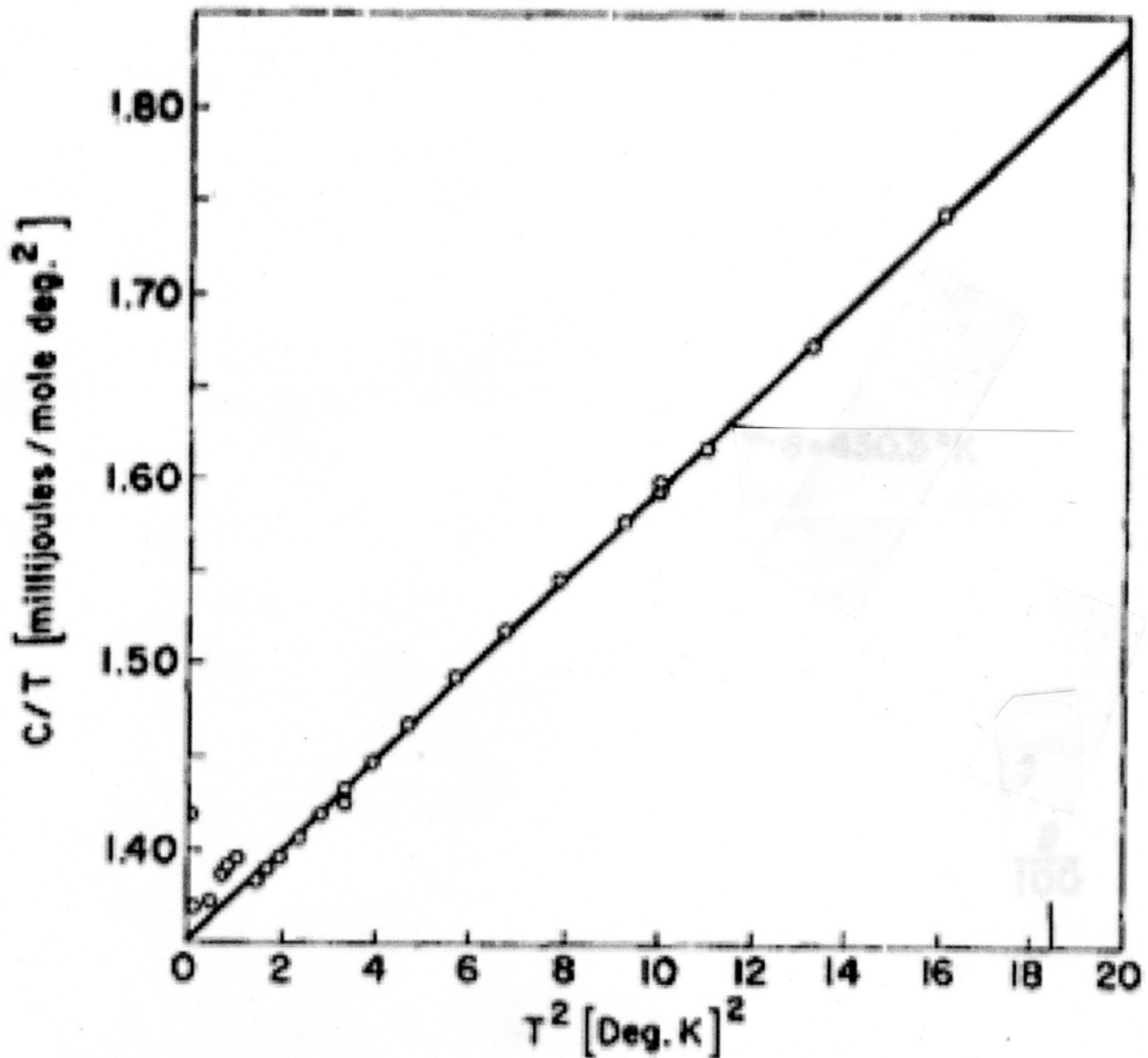
1. En röntgenstråle infaller mot en Cu(100) kristall längs dess $[\bar{1} 0 0]$ - riktning dvs $\mathbf{k} = \frac{2\pi}{\lambda} (-1, 0, 0)$. Cu har fcc- struktur (d v s fcc-gitter med en atom per gitterpunkt) med gitterparametern 3.60 Å.

(2p) a) För vilken våglängd erhålls en 311 –reflex?

(2p) b) Beräkna vinkeln mellan 311- reflexen och provets normalriktning.
2. a) Härled ett uttryck för dispersionsrelationen, $\omega(\mathbf{k})$, för vibrationsvågor på en linjär kedja av ekvidistanta atomer och visa att det räcker med ett $2\pi/a$ långt \mathbf{k} - intervall för att beskriva atomernas rörelse.

b) Den övre panelen i figuren på nästa sida visar den uppmätta dispersionen för longitudinella (L i diagrammet) och transversella (T) vågor i en Al kristall för vågvektorer i 111- riktningen. Vågvektorns längd betecknas q i diagrammet. Du kan bortse från de två nedre panelerna (med symbolen Γ utefter de vertikala axlarna) som visar hur väl man lyckats mäta de värden som visas i den övre panelen. Författarna har glömt att ange enhet för q . Beräkna först det maximala värdet för q i enheten inverterade Ångström och utnyttja sedan dispersionen för att uppskatta ljudhastigheten i Al. Vibrationsfrekvensen är given med enheten 10^{13} rad / s . Al har fcc-struktur med gitterparametern 4.05 Å.
3. a) Förklara vad som menas med periodiska randvillkor och visa att tillståndstätheten i \mathbf{k} -rummet är $V/8\pi^3$ i 3D-fallet. Visa också att det för 1D gäller att ämnen med udda valens förväntas vara metaller och de med jämn valens isolatorer. (2p)

b) I diagrammet på nästa sida visas hur C_V / T beror av T^2 för Al. Förklara kortfattat mätresultaten och bestäm minst en av de materialstorheter som kan erhållas ur diagrammet. (2p)



- 4 a) I vilket våglängdsområde förväntas Al ha en hög reflektivitet? Du kan utgå från att Al är en frielektronliknande metall. (1p)
- b) Vilka Brillouin-zonplan skär Fermi-volymen för Al om volymen antas vara sfärisk? (1p)
- b) Vad menas med direkt respektive indirekt optisk övergång? Tag Si och GaAs som exempel för att beskriva betydelsen av de olika typerna av optisk övergång för tekniska tillämpningar. (1p)
- c) Vad är det som ger koppar och guld deras färg? (1p)
- 5 a) Härled ett uttryck för det paramagnetiska bidraget till susceptibiliteten för en frielektronmetall. (2p)

b) Förklara kortfattat vad som menas med magnetisk domän, domänvägg och magnon samt visa hur magnetiseringskurvan kan se ut då t ex en enkristall av Fe påverkas av ett magnetfält. (2p)

Lösningar Tentamen 16 jan -08

1. a) $\mathbf{k}_{\text{ut}} = \mathbf{k}_{\text{in}} + \mathbf{G}_{\text{hkl}} = 2\pi/\lambda (-1, 0, 0) + 2\pi/a (3,1,1)$
 $k_{\text{ut}} = k_{\text{in}}$ ger $\lambda = 6 a/11 = 1.96 \text{ \AA}$.
 b) $\mathbf{k}_{\text{ut}} = 2\pi/\lambda (-1, 0, 0) + 2\pi/a (3,1,1) = 2\pi/a (7/6, 1, 1)$
 $\mathbf{k}_{\text{ut}} \cdot (1, 0, 0) = k_{\text{ut}} \cos \alpha$, som ger $\alpha = 50.5^\circ$.

2. a) se boken
 b) Alla vågor beskrivs av k-vektorer i 1:a Brillouin-zonen. Fcc i rummet ger bcc gitter i reciproka rummet med $g_p = 4\pi/a$. Rymddiagonalen i enhetscellen har längden $4\pi\sqrt{3}/a$ och avståndet till närmsta zongräns i 111-riktningen är $\pi\sqrt{3}/a = 1.34 \text{ \AA}^{-1}$. Detta är således maximala q-värdet i diagrammet. Ljudvågor är longitudinella vågor med $\omega = v q$ (våglängden betydligt större än gitterparametern). Ur lutningen för L-grenen för små q-värden erhålls $v \approx 6400 \text{ m/s}$. (I Physics Handbook ges i en tabell ljudhastigheten för en tunn stav av Al till 5110 m/s men det påpekas i tabellhuvudet att hastigheten för ett prov med större utsträckning är 6400 m/s).

3. a) se boken
 b) Ur lutningen på den räta linje som anpassats till mätpunkterna kan Debye-temperaturen erhållas. Med hjälp av det uttryck, $C_{\text{vib}}/T = 234 N k_B T^2 / \Theta_D^3$ som ges i Physics Handbook och linjens lutning $L = 0.48/20 \text{ mJ/molK}^4$ erhålls $\Theta_D^3 = 234 \cdot 6.02 \cdot 10^{26} \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 20 / 0.48 \text{ K}^3$ varav $\Theta_D = 430 \text{ K}$. Skärningen med vertikala axeln ger information om elektronernas bidrag till värmekapacititeten, $C_{\text{vel}} = \gamma T$, och kan utnyttjas för att erhålla ett värde på elektrontätheten vid Fermi-energin, $D(E_F)$. Ur samband som ges i Physics Handbook är $\gamma = (\pi^2/3) D(E_F) k_B^2 = 1.35 \text{ mJ/mol K}^2$ som ger $D(E_F) = 0.57 \text{ eV}^{-1} \text{ atom}^{-1}$. Detta kan jämföras med det värde som erhålls ur frielektronmodellen. Kvoten mellan uppmätt och beräknat värde på γ är regelmässigt större än ett och det brukar hänföras till elektronmassan. Pga att elektronerna växelverkar med fononer kommer elektroner med energier när Fermi-energin att bete sig som partiklar med en större massa än den verkliga elektronmassan. Man inför $\gamma_{\text{mätt}} / \gamma_{\text{friel}} = m^*/m$ där m^* kallas den termiska massan. Jämförelse med frielektronmodellen ger för Al att $m^* = 1.4 m$.

4. a) Här behöver man ha i minnet att reflektiviteten för en frielektronmetall är nära total upp till frekvenser som närmar sig plasmafrekvensen. Uttrycket för plasmafrekvensen finns i den bifogade Formelsamlingen och insättning ger för Al att reflektiviteten för Al är hög för våglängder ned till c:a 800 Å. Direkta optiska övergångar ger optisk absorption i det nära infraröda området för Al pga av de energi språng som erhålls vid de närmsta zongränserna som skärs av den nästan sfäriska Fermi-ytan.
 b) se boken.

5. se boken