

UNIVERSITETET I TRONDHEIM
 NORGES TEKNISKE HØGSKOLE
 INSTITUTT FOR TEORETISK FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen:

Professor P.C.Hemmer
 tlf. 3648

EKSAMEN I FAG 72031 FASTE STOFFERS FYSIKK I

Mandag 10. august 1987

0900-1600

Tillatte hjelpemidler: Godkjent lommekalkulator
 Rottmann: Mathematische Formelsammlung

Oppgave 1

Enkel kinetisk teori gir følgende uttrykk for varmelednings-
 evnen κ i en isolator:

$$\kappa = \frac{1}{3} v \lambda c_v ,$$

der v er midlere fononhastighet, λ midlere fri veglengde og
 c_v varmekapasiteten pr. volumenhet for fonongassen.

- Hvorfor avtar κ med temperaturen T for høye T ?
- Hva er temperaturavhengigheten av κ ved lave temperaturer for små perfekte krystaller?

Oppgave 2

I denne oppgave ser vi på elastisk røntgenspredning på
 krystaller. Bølgevektoren for den innfallende stråle er \vec{k}_i og
 for den spredte stråle \vec{k}_s .

- For et enkelt kubisk gitter med gitterkonstant a tar beting-
 elsen for å få konstruktiv interferens formen

$$\vec{k}_s - \vec{k}_i = \frac{2\pi}{a} (\hat{h}\vec{e}_x + \hat{k}\vec{e}_y + \hat{l}\vec{e}_z) ,$$

der \hat{h} , \hat{k} og \hat{l} er heltall. Vis dette.

- b) Med s atomer i enhetscella er spredningsintensiteten proporsjonal med $|S(\vec{k}_s - \vec{k}_i)|^2$, der

$$S(\vec{k}) = \sum_{m=1}^s f_m(\vec{k}) e^{i\vec{k}\vec{r}_m}$$

er strukturfaktoren og f_m atomformfaktoren (spredningsamplituden) for atom nr. m i posisjon \vec{r}_m . Begrunn dette uttrykket for strukturfaktoren

- c) Galliumarsenid (GaAs) danner en krystall i det kubiske system. Atomene har følgende posisjoner i enhetscella

Ga: 000 , $\frac{1}{2}\frac{1}{2}0$, $\frac{1}{2}0\frac{1}{2}$ og $0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$

As: $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$,

alle koordinater målt med sidekanten a i den kubiske enhetscella som enhet.

Hvilken romgittertype danner Ga-atomene og As-atomene hver for seg, og hvilket romgitter har krystallen?

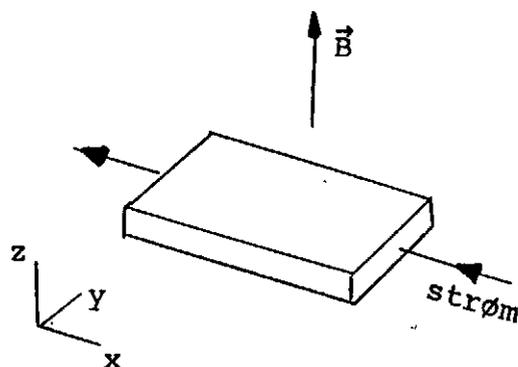
- d) Beregn strukturfaktoren for GaAs for en generell refleks $\hat{h}\hat{k}\hat{l}$.
- e) Hvilke reflekser er systematisk utslukket? I et visst vinkelområde er atomformfaktorene f_{Ga} og f_{As} nesten like, og noen reflekser vil derfor bli svært svake. Hvilke?

Oppgave 3

- a) Hva er Halleffekten? Vis at Hallkoeffisienten $R = E_y / j_x B_z$ er gitt ved

$$R = -1/en_-,$$

når ladningsbærerne er elektroner med antallstetthet n_- .



- b) For en ekstrinsikk halvleder i et magnetfelt 0.6 Tesla måles en Hallspenning 4mV tversover et prøvestykke som er $L_z=1\text{mm}$ tykt, $L_y=5\text{mm}$ bredt og $L_x=5\text{cm}$ langt. Strømmen i x-retning er 10 mA. Beregn antalltettheten av ladningsbærerne.
- c) Generaliser uttrykket for Hallkoeffisienten R for det tilfelle at både negative og positive ladningsbærere er tilstede, med antallstetthet henholdsvis n_- og n_+ . De to typer ladningsbærere har (retningsuavhengige) mobiliteter μ_- og μ_+ .
- d) Angi to eksperimentelle kjennetegn på en halvleder. Bruk så bandstrukturen til å karakterisere en halvleder, og angi et kvantitativt estimat på forskjellen mellom halvleder og isolator (ved romtemperatur). Hva er forskjellen mellom en intrinsikk og ekstrinsikk halvleder?

Oppgave 4

- a) Definer begrepet Fermienergi, og benytt frielektronmodellen til å bestemme Fermienergien ϵ_F for et metall med n elektroner pr. volumenhet.
- b) Ett elektron med magnetisk moment parallelt (antiparallelt) et svakt ytre magnetfelt \vec{H} får et negativt (positivt) energibidrag $\mu_B \mu_0 H$ p.g.a. feltet.
- Vis at for et metall med n elektroner pr. volumenhet er susceptibiliteten p.g.a. dette lik

$$\chi = \frac{3}{2} \frac{\mu_0 \mu_B^2 n}{\epsilon_F} .$$

Det forutsettes $T=0$, og at en kan se bort fra det periodiske potensialet.

VEDLEGG

Noen av nedenforstående uttrykk og konstanter kan vise seg nyttige.

Midlere besettelsestall
for fermioner:

$$f(\epsilon) = \frac{1}{e^{(\epsilon - \mu)/k_B T} + 1}$$

Midlere besettelsestall
for fononer:

$$f(\omega) = \frac{1}{e^{\hbar\omega/k_B T} - 1}$$

Nivåtetthet for frie
elektroner:

$$g(\epsilon) = \frac{V}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \epsilon^{1/2}$$

Plancks konstant

$$h = 6.6262 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Elektronmassen

$$m = 9.1096 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$mc^2 = 0.511 \text{ MeV}$$

Elektronladningen

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Finstrukturkonstanten:

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

Lyshastigheten i vakuum:

$$c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Ved romtemperatur:

$$k_B T \approx 1/40 \text{ eV}$$

Bohrmagneton

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$$