

DUGGA i Fasta tillståndets fysik för F3
 Tid: 12 februari 2009 kl 10:00-011:45
 Lokaler: FL 63, FL73, FL74, FB

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

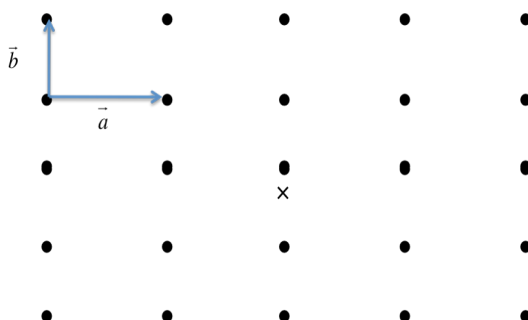
1. Forklara följande begrepp med ord eller bild (0.1p per fråga):

- Optisk svängningsmod,
- Wigner-Seitz cell,
- 1:a Brillouin zon,
- Färgcenter,
- Aktiveringsenergi för diffusion.

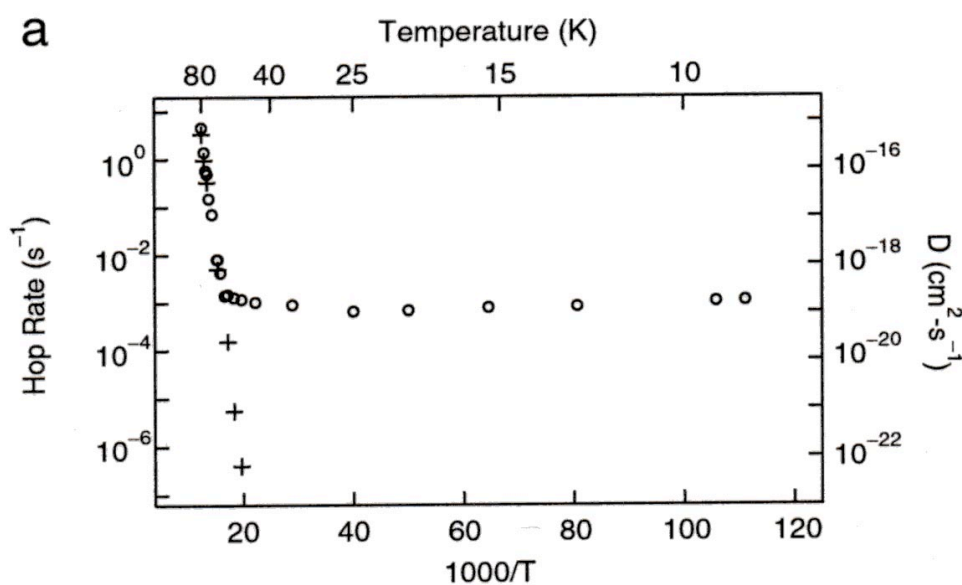
Ange typiska värden för följande fysikaliska variabler (0.1p per fråga):

- Akustisk fononhastighet (m/s),
- Kohesivenergi per atom för en metall (eV) ,
- Vakansbildningsenergi i en kristall (eV/vakans),
- Aktiveringsenergi för diffusion av en liten interstitiell atom i metaller (eV),
- Frekvensfaktor (antal hopp försök/s) för diffusion.

2. En 2D kristall har rektangulärt gitter som definieras av primitiva gittervektorerna \mathbf{a} och \mathbf{b} och basen med en atom per gitterpunkt (se figur):

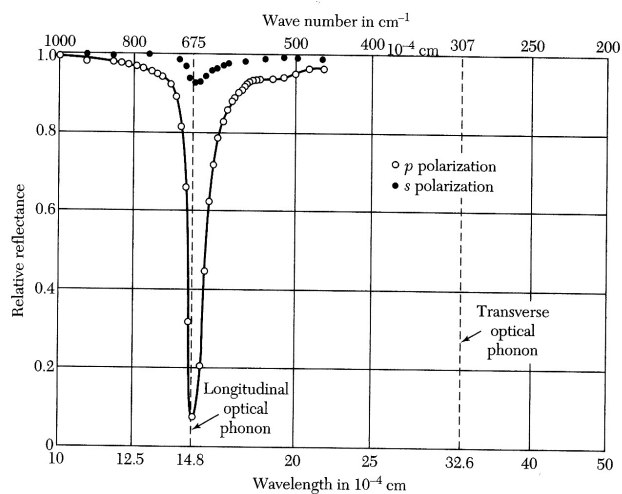


- a) Rita Wigner-Seitz primitiv enhetscell för giterrpunkten markerad med x-et (0.25p)
- b) Rita minst ett par av parallela plan som beskrivs med Miller index (1,0), (1,1) och (2,1) (0.25p).
- c) Hur stort är avståndet mellan planskara d_{hk} i dessa tre fall (a, och b anses kända) (0.5p)?
3. Finns det möjlighet att i en kubisk kristall med basen som består av två identiska atomer vid (0,0,0) och $a(1/3, 1/3, 1/3)$ hitta ett par lågindexerade kristallplan (Miller index består av låga tal) som släcker diffrakterade strålar? (1p)
4. Visa att Braggs lag följer från Laues diffraktionsvillkor. (1p)
5. Si kristalliserar inom fcc struktur (fcc-gitter och tvåatomigbas med atomerna i (0,0,0) och $a/4(1,1,1)$). Beräkna intensiteten för 200 diffrakterade reflex. Förklara fysiken bakom din resultat. (2p)
- 6) Beskriv en metod för mätning av vakanskoncentrationen i metaller? (1p)
- 7) Förklara varför det uppstår vakanser i kristaller i jämvikt vid temperaturen T om det kostar vakansbildningsenergi att skapa dessa. (1p)
8. Nedstående figur visar diffusionskoefficient (OBS-kolla skallan till höger) för H-atomer (o) och D-atomer (+) på Cu(110) ytan som funktion av temperatur respektive invers temperatur.
- a) Förklara varför diffusionskoefficienterna för dessa två atomer på samma metallytan visar samma temperaturberoende i temperaturintervallet mellan $\approx 50^\circ\text{K}$ och 80°K medan vid låga temperaturer ($T < 50^\circ\text{K}$) $D(T)$ för H och D-atomer har annorlunda T-beroendet?(1p)
- b) Uppskatta aktiveringsenergin för diffusion av D-atomer på Cu (110) ytan. (1p)



L.J.Louhan et al., Phys. Rev. Letters, V85, p.4566, 2000.

- 9) Nedstående figur visar reflektansen hos LiF som funktion av våglängden för infallande strålningen i infrarött område. En minimum i reflektansen (=stark absorption) observeras för IR strålningen med våglängden $\lambda = 14.8 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$. Beräkna med hjälp av data ur figuren kraftkonstanten C för LiF. Förklara mekanismen bakom kraftiga dippen i reflektansen. (2p)



FFY 011 - Lösningsar JUSGA 090212

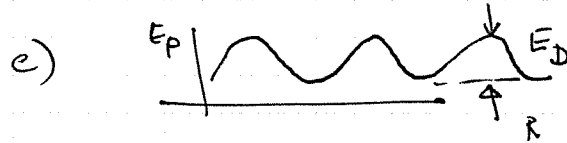
①

a) Kollektiv atomär rörelse i kristallen ~~de~~ med 2 atomer i basen där basatomerna svänger i mottfas

b) W-S cell: Den volym runt en gitterpunkt som avgränsas av mittpunktnormalen till förbindelselinjerna till omgivande närmaste g-punkter.

c) 1: BZ \equiv W-S cell i reziproka rummet

d) Cl^- vakans i alkalihalidkristaller



f) 1000 - 5000 m/s

g) 1 - 5 eV

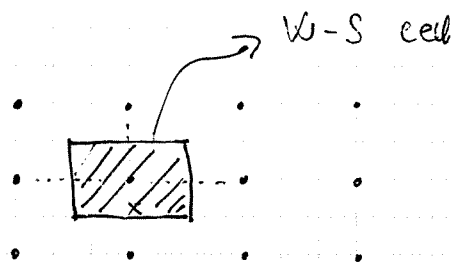
h) ~ 1 eV

i) ~ 1 eV

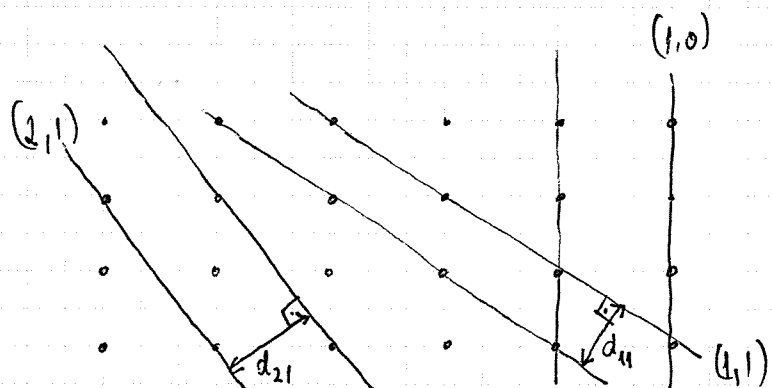
j) $10^{12} - 10^{13} s^{-1}$

2)

a)



b)



$$c) d_{hk} = \frac{1}{\sqrt{\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2}}} \Rightarrow$$

$$d_{10} = a$$

$$d_{11} = \frac{ab}{\sqrt{a^2+b^2}}$$

$$d_{21} = \frac{ab}{\sqrt{4b^2+a^2}}$$

$$3) S = f \left(1 + e^{-i \vec{G}_{hkl} \cdot \frac{a}{3} (1,1,1)} \right)$$

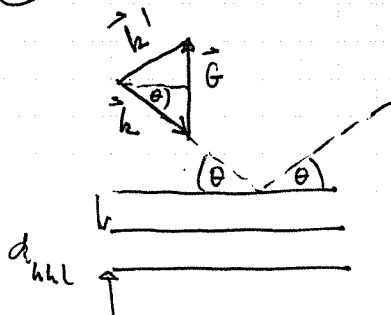
$$\vec{G}_{hkl} = \frac{2\pi}{a} (h, k, l)$$

$$S = f \left(1 + e^{-i \frac{2\pi}{3} (h+k+l)} \right)$$

släcks om $\frac{2}{3}(h+k+l) = 2m+1$ där $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

eller $\underbrace{2(h+k+l)}_{\text{jämt}} = \underbrace{3(2m+1)}_{\text{udda}} \Rightarrow$ går ej.

4) Bragg från lave!



$$\text{Lave: } \begin{aligned} \vec{k}' &= \vec{k} + \vec{G} \\ k &= k' \end{aligned}$$

Från figuren:

$$k \sin \theta = \frac{1}{2} G$$

$$\text{pga } G_{hkl} = \frac{2\pi}{d_{hkl}} \Rightarrow$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sin \theta = \frac{1}{2} \frac{2\pi}{d_{hkl}}$$

$$2 d \sin \theta = \lambda \quad (\text{Bragg})$$

$$5) I \propto |GS|^2 / |S|^2$$

$$GS \neq 0 \quad \text{bara om } \Delta \vec{k} = \vec{G}_{hkl} = \frac{2\pi}{a} (h, k, l)$$

$$S = f \left(1 + e^{-i \frac{2\pi}{a} (h, k, l) \cdot \frac{a}{4} (1,1,1)} \right) = f \left(1 + e^{-i \frac{\pi}{2} (h+k+l)} \right)$$

$$S = 0 \quad \text{då } (h, k, l) = (2, 0, 0)$$

$I = 0$ pga destruktiv interferens från vågor som utgår från 2 atomer i basen.

6) kyl provet snabbt till 40K. $\Rightarrow R_S$
 kyl provet långsamt till 40K $\Rightarrow R_L$

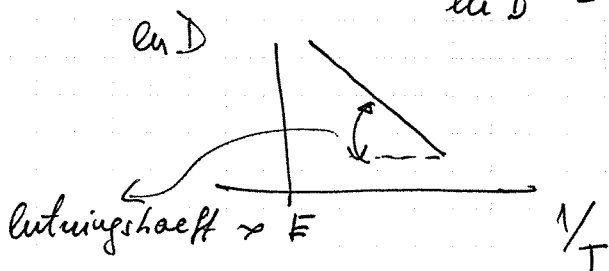
Mät $\Delta R = R_S - R_L \propto \frac{n}{N}$ vid starttemp.
 resistans

7) Man skapar vakanser genom tillshott av termisk energi. Mere energi i kristallen ökar när vakanser bildas. Men samtidigt skapar man oordningen i kristallen dvs entropin ökar. I jämvikten är det fria energin $F = U - TS$ som minimeras. Entropi ökningen dominerar förändringen i frie energi.

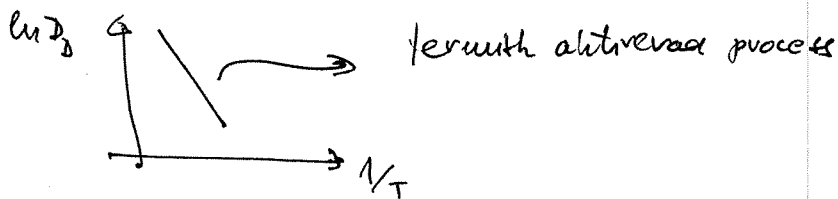
8) a) Termisk aktiverad diffusion

$$D = D_0 e^{-E/k_B T}$$

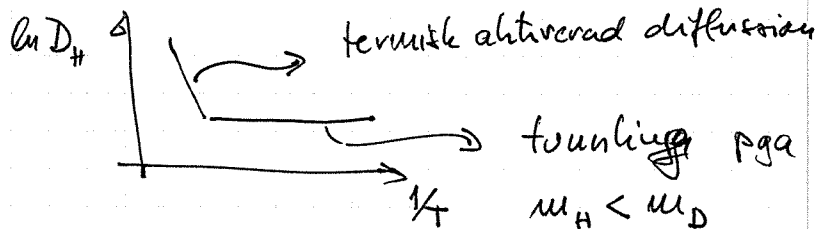
$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E}{k_B T}$$



för D-atomer



för H-atomer



b) Uppskatta E?

D vid 80°K

$$\Rightarrow D_{80} \approx 5 \cdot 10^{-16}$$

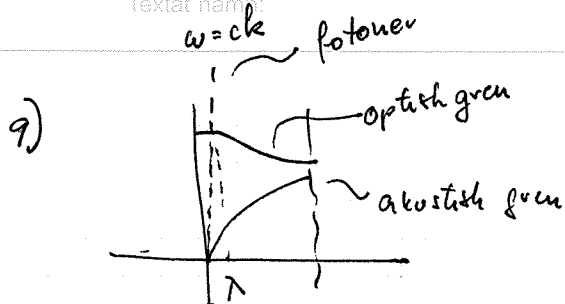
D vid 20°K

$$\Rightarrow D_{20} \approx 10^{-22}$$

$$D_{80} = D_0 e^{-E/k_B \cdot 80}$$

$$D_{20} = D_0 e^{-E/k_B \cdot 20}$$

$$\Rightarrow E \sim 1 \cdot 10^{-21} \text{ J} \approx \underline{\underline{33 \text{ meV}}}$$



$$\lambda = 4.8 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ mycket liten} \Rightarrow k \approx 0$$

$$\text{resonans} \Rightarrow \omega = ck = \omega_{\text{optisk foton}} (k=0)$$

$$\omega_{\text{optisk foton}} (k=0) = \sqrt{2c} \sqrt{\left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}\right)} = \sqrt{\frac{2c}{\mu}}$$

$$\omega_{\text{of}} (k=0) = c \cdot k = \frac{2\pi c}{\lambda} = 1.2 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\mu = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$$

$$M_1 = 19 \text{ massenhet}$$

$$M_2 = 7 \text{ massenhet}$$

$$\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{2c}{\mu}} \Rightarrow c \sim 69 \frac{\text{hN}}{\text{m}}$$

"Dippen" i reflektiviteten finns pga att foton absorberas och en optisk foton skapas.