CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA 2016-12-21
Institutionen för Teknisk Fysik kl.:14^{00}-18^{00}
Sal : S- salar

Tentamen i **FYSIK 2 för E** (FFY143)

Lärare:	Stig-Åke Lindgren, tel 7723346
Hjälpmedel:	Valfri kalkylator och ett A4-blad med egenhändigt framställda anteckningar, Beta, Physics Handbook, TEFYMA eller motsvarande gymnasietabell
Betygsgränser:	10, 15 och 20 p för betyg 3, 4 och 5 respektive

---

1. En enatomig idealgas genomlöper en kretsprocess som när den åskådliggörs i ett pV-diagram bildar en rätvinklig triangel (med hörnen A, B och C). Den består av följande tre delprocesser:
Mellan A och B sker en isobar (vid trycket 30 atm) expansion av gasen från volymen 2 liter till 8 liter. Mellan B och C sker in isokor (vid volymen 8 liter) avkylning från trycket 30 atm till 10 atm.
Delprocessen mellan C och A åskådliggörs i PV-diagrammet av en rät linje.

a) Rita upp kretsprocessen i ett pV-diagram och beräkna därefter hur stort arbete gasen uträttar netto under ett varv i pV-diagrammet. Ange svaret i J.

b) Hur mycket ändras gasens inre energi (uttryckt i J) mellan C och A? (4p)

2. Vid en Debye-Scherrer upptagning med röntgenvåglängden 1,54 Å av ett metalliskt pulver nöjer man sig med att mäta upp de fyra minsta Braggvinklarna med resultatet 21,7°, 25,3°, 37,2° och 45,2°.

a) Hur många Braggvinklar totalt (inklusive de fyra minsta givna ovan) borde man ha kunnat mäta upp i denna undersökning. Vilket värde skulle man fått på den största vinkeln?

b) Bestäm kristallstruktur och gitterkonstant. (4p)

3. a) Beskriv kortfattat två experimentella metoder för att bestämma bandgapets storlek i en halvledare.

b) Gör en så noggrann skiss du kan av hur elektrontätheten varierar med energin i ledningsbandet för en typisk halvledare vid rumstemperatur. Bestäm vid vilken energi relativt leningsbandsbotten elektrontätheten har sitt maximum. (4p)

4. Kalium är en monovalent frielektronliknande metall med bcc struktur och gitterkonstant 5,2 Å. Använd denna givna information och beräkna för kalium:

a)Volymen (uttryckt i $Å^{-3}$) av 1:a Brillouinzonen.

b) Den <u>näst kortaste</u> (uttryckt i $Å^{-1}$) reciproka gittervektorn.

c) Hur stor valens (antal elektroner per atom; behöver ej vara heltal) som skulle krävas för att få Fermisfären att precis tangera den Brillouinzongräns som förknippas av den <u>näst kortaste</u> reciproka gittervektorn? (4p)

5. Då en av metallytorna till ett välkylt prov av en frielektronliknande metall belyses med monokromatiskt ljus med våglängden λ_1 emitteras elektroner som omedelbart utanför metallytan har en maximal kinetisk energi på 2,00 eV. Man observerar att om ljusvåglängden halveras (till $\lambda_1/2$) blir den maximala kinetiska energin på de emitterade elektronerna 8,00 eV.
a) Vilken maximal kinetisk energi skulle de emitterade elektronerna erhållit om ljusvåglängden hade minskat till en fjärdedel av den ursprungliga (till $\lambda_1/4$)?
b) Vilken kinetisk energi skulle en av de allra energifattigaste ledningselektronerna få efter excitation och emission vid belysning med våglängden $\lambda_1/4$? Man vet att Fermisfären har en radie på 0,900 $Å^{-1}$. (4p)

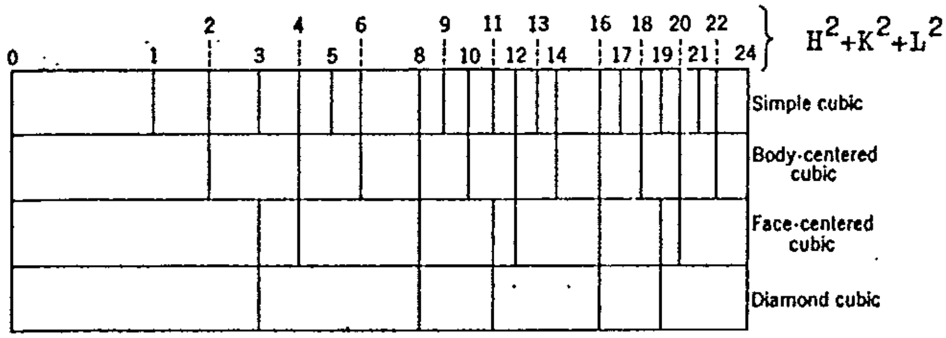
6. Vid 300 K i en n-dopad halvledare med bandgapet 1,00 eV är 99,9 % av alla donatorer joniserade. Donatornivån ligger 0,060 eV under botten av ledningsbandet.

a) Hur stor är sannolikheten att finna en elektron på ett tillstånd vid botten av ledningsbandet?

b) Hur stor är den elektriska ledningsförmågan?

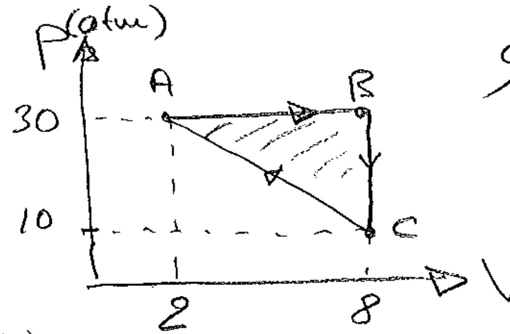
(För halvledaren gäller följande: $m_e^* = m_h^* = m$ (dvs vanliga elektronmassan). Mobiliteten för elektroner är 0,15 m^2/Vs och för hål är 0,05 m^2/Vs. Vid 300 K är kT= 0,026 eV.) (4p)

<u>Tillåtna reflexer för olika kubiska strukturer:</u>



Lösn.förslag Fysik 2 (FFY143) 2016-12-21

1.



a) W_{netto} = "arean av triangeln" =

$$= \frac{6\cdot 20}{2} = 60\ \ell\cdot atm =$$

$$= 60\cdot 10^{-3}\cdot 1{,}013\cdot 10^{5}\ \frac{m^3\cdot N}{m^2} \approx 6\ kJ$$

b) $$\Delta E_{int} = n' C_v (T_A - T_C) = \left\{ \begin{array}{l} C_v = \frac{3}{2}R \\ \frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_C V_C}{T_C} \Rightarrow T_C = \frac{4}{3}T_A \end{array} \right\} = \frac{3}{2} n' R \cdot \left(T_A - \frac{4}{3}T_A\right) =$$

$$= -\frac{1}{2} n' R T_A = -\frac{1}{2} p_A V_A = -\frac{1}{2}\cdot 30\cdot 2\ \ell\, atm = -30\cdot 10^{-3}\cdot 1{,}013\cdot 10^{5} = -3\ kJ$$

2.

$$2\cdot\frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}\sin\theta = \lambda \Rightarrow \frac{\sin^2\theta}{h^2+k^2+l^2} = \frac{\lambda^2}{4a^2};\quad \theta = 21{,}7^\circ\ 25{,}3^\circ\ 37{,}2^\circ\ 45{,}2^\circ$$

$\frac{\sin^2\theta}{4a^2}$ = konstant = 0,0457 för $h^2+k^2+l^2$ = 3, 4, 8, 11, 12, 16, 20, 24, ... ∴ fcc

∴ $\frac{\lambda^2}{4a^2} = 0{,}0457 \Rightarrow a = 3{,}6$ Å (Med $\sin^2\theta = 1 \Rightarrow h^2+k^2+l^2 = 21{,}9$) ⇒

$\Rightarrow$ ∴ $(h^2+k^2+l^2)_{max} = 20 \Rightarrow \sin\theta_{max} = \sqrt{20}\cdot\frac{\lambda}{2a} \Rightarrow$

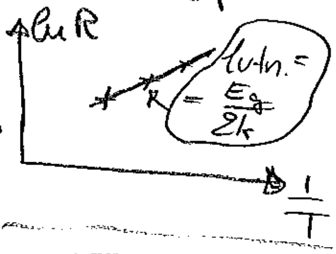
$\Rightarrow$ 8 vinklar med $\theta_{max} = 72{,}9^\circ$

3.

a) I • Mät Resistans vs temperatur i egenledn.området

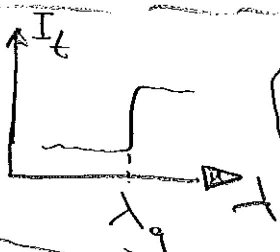
$R \sim \rho = \frac{1}{\sigma} \Rightarrow \boxed{\ln R = \text{konst}\cdot\frac{E_g}{2k}\cdot\frac{1}{T}}$

Plotta $\ln R$ mot $\frac{1}{T}$ ⇒

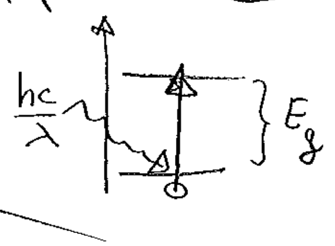


II • Mät transmissionen av EM-stråln genom en platta vs λ

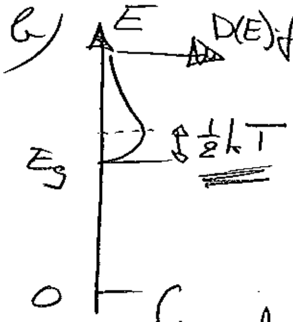
plotta:



Tröskel då $\frac{hc}{\lambda_g} = E_g$



b)



antal e^- inom $[E, E+dE]$ =

$= D(E)\cdot f(E)\,dE$

$D(E)\cdot f(E) = \text{konst}\cdot\sqrt{E-E_g}\cdot f(E)$

som har max vid $\frac{1}{2}kT$

$\left\{ \text{ty } f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{kT}}+1} \text{ och } \frac{d}{dE}(D(E)\cdot f(E)) = 0 \right\}$

(4.) Kalium har $\begin{cases} \text{bcc-str.} \\ a = 5{,}2\ \text{Å} \\ \text{Valens} = 1 \end{cases}$ 1:a B-zonen är halvfylld

a) $\therefore V_{B\text{-zonen}} = 2 \cdot \frac{4\pi k_F^3}{3}$ där $k_F = \left(3\pi^2 \frac{N_e}{V}\right)^{1/3}$ och $\frac{N_e}{V} = \frac{2 \cdot 1}{a^3}$

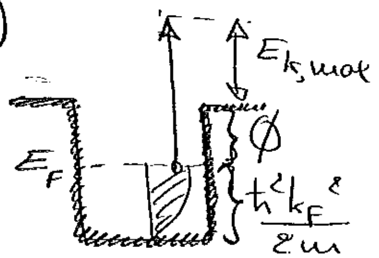
$\therefore V_{B\text{-zonen}} = \frac{2 \cdot 4\pi \cdot 3\pi^2 \cdot 2}{3 \cdot a^3} = 16\frac{\pi^3}{a^3} = \underline{\underline{3{,}52\ \text{Å}^{-3}}}$

b) $G_{hkl} = \frac{2\pi}{a}(h\hat{x} + k\hat{y} + l\hat{z})$; $|G_{hkl}| = \frac{2\pi}{a}\sqrt{h^2+k^2+l^2}$ där $\begin{cases} h^2+k^2+l^2 = 4 \\ \text{för näst kortaste} \\ \text{ty bcc} \end{cases}$

$\therefore G_{n.\text{kortast}} = \frac{2\pi}{a} \cdot \sqrt{4} = \underline{\underline{2{,}42\ \text{Å}^{-1}}}$

c) $k_F = \frac{1}{2} \cdot \frac{4\pi}{a}$; $\left(3\pi^2 \cdot \frac{x \cdot 2}{a^3}\right)^{1/3} = \frac{2\pi}{a} \Rightarrow 6\pi^2 x = (2\pi)^3 \Rightarrow \underline{\underline{x = 4{,}2}}$

(5.)



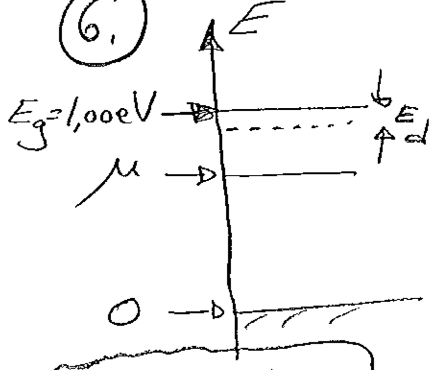
$$\left.\begin{aligned} E_{k,\max} = \frac{hc}{\lambda_1} - \phi &= 2{,}0\ \text{eV} \\ \frac{hc}{\lambda_1/2} - \phi &= 8{,}0\ \text{eV} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \frac{hc}{\lambda_1} = 6\ \text{eV} \\ \phi = 4\ \text{eV} \end{cases}$$

a) $\frac{hc}{\lambda_1/4} - \phi = 4 \cdot 6 - 4 = \underline{\underline{20\ \text{eV}}} = \text{Svar i a}$

$\frac{\hbar^2 k_F^2}{2m} = \{k_F = 0{,}90\ \text{Å}^{-1}\} = \underline{\underline{3{,}1\ \text{eV}}}$

b) en elektron från botten av gropen kommer att få en kin. energi som är 3,1 eV lägre än 20 eV dvs $\underline{\underline{16{,}9\ \text{eV}}}$

(6.)



μ kan beräknas ur: $N_d^+ = N_d \underbrace{\left[1 - f(E_g - E_d)\right]}_{0{,}999}$

$\therefore f(E_g - E_d) = \frac{1}{e^{\frac{E_g - E_d - \mu}{kT}} + 1} = 0{,}001$

$\Rightarrow \frac{E_g - E_d - \mu}{kT} = \ln 999$; $\begin{cases} kT = 0{,}026\ \text{eV} \\ E_d = 0{,}060\ \text{eV} \\ E_g = 1{,}00\ \text{eV} \end{cases} \Rightarrow \underline{\underline{\mu = 0{,}76\ \text{eV}}}$

$\boxed{\begin{aligned} &n = n_0 e^{\frac{\mu - E_g}{kT}} \\ &p = p_0 e^{-\mu/kT} \\ &m_e^* = m_h^* = m \text{ och} \\ &T = 300\text{K} \Rightarrow \\ &n_0 = p_0 = 2{,}5 \cdot 10^{25}\ \text{m}^{-3} \end{aligned}}$

a) $f(E_g) = \frac{1}{e^{\frac{E_g - \mu}{kT}} + 1} = \frac{1}{e^{\frac{0{,}24}{0{,}026}} + 1} = \underline{\underline{9{,}8 \cdot 10^{-5} \approx 1 \cdot 10^{-4}}}$

Svar i a

$\Rightarrow \begin{matrix} \mu = 0{,}76\ \text{eV} \\ kT = 0{,}026\ \text{eV} \end{matrix}$ b) $\begin{cases} n = 2{,}5 \cdot 10^{21}\ \text{m}^{-3} \\ p = 5{,}0 \cdot 10^{12}\ \text{m}^{-3} \end{cases} \Rightarrow \sigma = ne\mu_e + pe\mu_h \approx \underline{\underline{60\ (\Omega\text{m})^{-1}}}$

Svar i b