Lösn.anv. till Fysik E del II för E2 (19990406)

1.

Strukturfaktorn $S_{hkl} = \sum_{j=1,2} f_j e^{-i G \cdot R_j}$

där $G = \frac{2\pi}{a}[h\hat{x} + k\hat{y} + l\hat{z}]$ och $R_1 = a(0+0+0)$; $R_2 = a(\frac{1}{2}\hat{x} + \frac{1}{2}\hat{y} + \frac{1}{2}\hat{z})$

$\therefore S_{hkl} = f_1 + f_2 \cdot e^{-i\pi(h+k+l)}$ där $\begin{cases} f_1 = f_{Cl} \sim \text{spridn.styrkan hos } Cl^- \text{-jon} \\ f_2 = f_{Cs} \sim \text{spridn.styrkan hos } Cs^+ \text{-jon} \end{cases}$

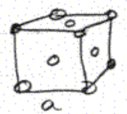
$\Rightarrow S_{hkl} = \begin{cases} f_1 + f_2 & \text{om } h+k+l = \text{jämnt tal} \\ f_1 - f_2 & \text{om } h+k+l = \text{udda tal} \end{cases}$

men $f_1 \neq f_2$ ($f_{Cl} \neq f_{Cs}$; fler elektroner i Cs^+ än i Cl^--jonen)

$\therefore S_{hkl} \neq 0$ för alla hkl ; Braggs lag: $2 \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \sin\theta = \lambda$

och $\begin{cases} \lambda = 1{,}93\ \text{Å} \\ a = 4{,}12\ \text{Å} \\ h^2+k^2+l^2 = 1, 2, 3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sin\theta_1 = \frac{\lambda \cdot 1}{2a} = \frac{1{,}93}{2 \cdot 4{,}12} \\ \sin\theta_2 = \frac{\lambda \cdot \sqrt{2}}{2a} \\ \sin\theta_3 = \frac{\lambda \cdot \sqrt{3}}{2a} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \underline{\theta_1 = 13{,}6^\circ} \\ \underline{\theta_2 = 19{,}3^\circ} \\ \underline{\theta_3 = 23{,}9^\circ} \end{cases}$

2. Al fcc; $a = 4{,}05\ \text{Å} \Rightarrow n = \frac{4 \cdot 3}{a^3} = 1{,}81 \cdot 10^{29}\ \frac{el}{m^3}$



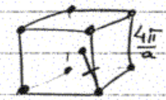
4 atomer/cell

3 el/atom

a) $k_F = (3\pi^2 n)^{1/3} = 1{,}75 \cdot 10^{10}\ m^{-1} = \underline{1{,}75\ \text{Å}^{-1}}$

b) $\hbar\omega_p = \hbar\sqrt{\frac{ne^2}{m\varepsilon_0}} = 2{,}53 \cdot 10^{-18}\ J = \underline{15{,}8\ eV}$

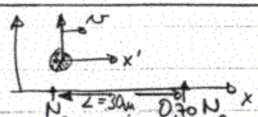
c) $\begin{cases}\text{Reella} \\ \text{rummet fcc}\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}\text{Rec.} \\ \text{rummet bcc med gitterkonstant } \frac{4\pi}{a}\end{cases}$



närmsta B.zongräns vid $\frac{1}{2} \cdot$ kortaste G-vektor $= \frac{1}{2} \cdot \frac{4\pi}{a} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\pi\sqrt{3}}{a} = \underline{1{,}34\ \text{Å}^{-1}}$

d) Volymen av en B-zon = volymen som en rec.gitterpunkt upptar i rec.rummet $= \left\{ 2 \text{ punkter i } \left(\frac{4\pi}{a}\right)^3 \right\} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{4\pi}{a}\right)^3 = \frac{2 \cdot 16\pi^3}{a^3} = \underline{1{,}49\ \text{Å}^{-3}}$

3.



Beräkna först halv.tiden i rörets system (dvs S-syst. i figuren). Enligt uppgift återstår 70% av partiklarna efter tiden $t = \frac{L}{v}$ där $L = 30\,m$ och v från att $E_k = 6E_0$.

$E_k + E_0 = E_0\left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}\right]$

$\Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{48}}{7}$

Sönderfallslagen: $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot t} \Rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\ln\frac{N_0}{N}} \cdot \frac{L}{v} = 1{,}96 \cdot 10^{-7}\,s$

men $t_{1/2} = \frac{t_{1/2}^{\circ}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \Rightarrow t_{1/2}^{\circ} = \underline{2{,}80 \cdot 10^{-8}\,s}$

4. ${}^4_2He + {}^{60}_{28}Ni \rightarrow {}^{63}_{30}Zn + {}^1_0 n$

b) $Q = [\text{vilomassa före} - \text{vilomassa efter}]c^2 = \text{ökn. av kin.energin} = [m_{He} + m_{Ni} - m_{Zn} - m_n]c^2 = [4{,}002604 + 59{,}930788 - 62{,}93205 - 1{,}008665]\underbrace{uc^2}_{931{,}48\,MeV} = \underline{-7{,}897\ MeV}$

a) $Q = E_{k,n} + E_{k,Zn} - E_{k,He} - E_{k,Ni} = E_{k,n} + 0{,}74\,MeV - 18{,}00\,MeV - 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \underline{E_{k,n} = 9{,}36\ MeV}$

5. Si (vid T = 300K): $np = n_i^2 = 2{,}1 \cdot 10^{31}\ m^{-6}$; $\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h$

n-dopa så $\sigma = 100(\Omega m)^{-1}$; odopat Si: $\sigma_i = n_i e(\mu_e + \mu_h) = 1{,}54 \cdot 10^{-4}(\Omega m)^{-1}$

$\therefore \sigma \gg \sigma_i \Rightarrow n \gg p$ ($n \cdot p = n_i^2 = \text{konst}$) $\therefore \sigma = ne\mu_e = 100(\Omega m)^{-1} \Rightarrow n = 3{,}9 \cdot 10^{21}\ m^{-3}$

$\Rightarrow p = \frac{2{,}1 \cdot 10^{31}}{3{,}9 \cdot 10^{21}} = \underline{5{,}4 \cdot 10^9\ m^{-3}}$ = Svar i b

Vid RT praktiskt taget alla donatorer joniserade $N_d^+ \approx N_d$

och $n \approx p + N_d$ (kristallen el. neutral) $\Rightarrow \underline{N_d} = n - p \approx n = \underline{3{,}9 \cdot 10^{21}\ m^{-3}}$

Svar i a

c) $n = n_0 e^{\frac{\mu - E_g}{kT}}$ där $n \approx N_d$ och $n_0 = 2{,}5 \cdot 10^{25} \cdot \left(\frac{m_e}{m}\right)^{3/2} = 2{,}5 \cdot 10^{25} \cdot 0{,}26^{3/2} = 3{,}3 \cdot 10^{24}\ m^{-3}$

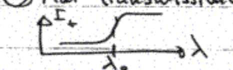
$\Rightarrow \mu = E_g + kT \ln\frac{n}{n_0} = E_g + kT \ln\frac{3{,}9 \cdot 10^{21}}{3{,}3 \cdot 10^{24}} = E_g - kT\,6{,}74 = \underline{E_g - 0{,}17\,eV} = 1{,}14 - 0{,}17 = \underline{0{,}97\,eV}$

d) gränsen då $\sigma \approx \sigma_i$ eller $n_i \approx N_d$ (storleksordn.)

$n_i = \sqrt{n_0 p_0}\, e^{-\frac{E_g}{2kT}} = 2{,}5 \cdot 10^{25} \cdot \left(\frac{m_e}{m}\right)^{3/4}\left(\frac{m_h}{m}\right)^{3/4} \cdot \left(\frac{T}{300K}\right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}} = 3{,}9 \cdot 10^{21}$

$\Rightarrow$ T ca 860K–880K

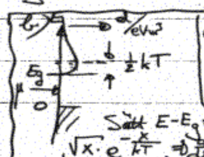
6. a) (I) Mät transmissionen av el.magn. stråln som fkn av λ



Ökad transmiss. för $\lambda > \lambda_g$ där $\lambda_g = \frac{hc}{E_g}$ pga el-hålpar excitationer

(II) Mät Resistansen som fkn. av temp. i egenledn. området $R \sim e^{\frac{E_g}{2kT}}$

$\Rightarrow E_g$ från plot av t.ex. $\ln R$ mot $\frac{1}{T}$



b) $\frac{el}{m^3 eV}$ i ledn.bandet $= N(E) \cdot f(E) \sim \sqrt{E - E_g} \cdot e^{-\frac{E-\mu}{kT}}$ ($f(E) \approx e^{-\frac{E-\mu}{kT}}$ då $E - \mu \gg kT$)

Sätt $E - E_g = x \Rightarrow \sqrt{x} \cdot e^{-\frac{x}{kT}}$ max då $\frac{d}{dx}(\sqrt{x}\, e^{-\frac{x}{kT}}) = 0 \Rightarrow x = \frac{1}{2}kT$