TENTAMEN I FASTA TILLSTÅNDETS FYSIK F3

Tid **2007 03-17 em**

Lokal **V**

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. a) En kristall med enkelt kubiskt gitter (gitterparametern = a) har två lika atomer i basen, den ena i (0,0,0) och den andra i (a/p, a/p, a/p), där p är ett heltal. För vilka värden på p elimineras en del av de röntgenreflexer, som tillåts av gittret ? (2p)

b) En elektronstråle infaller vinkelrätt mot en 2D kristall med kvadratiskt gitter och en atom i basen. Vilken är den minsta k-vektor elektronerna kan ha för att ge upphov till andra diffrakterade strålar än den spegelreflekterade strålen och hur många bakåtdiffrakterade strålar erhålls (dvs strålar för vilka diffraktionsvinkeln är minst 90°) . Gitterparametern är a. (1p)

c) Hur påverkas röntgendiffraktion av att amplituden för atomernas vibrationer ökar när provtemperaturen höjs (vi bortser från att gitterparametrar ändras med temperaturen)? Du behöver inte motivera Ditt svar och inte skriva ned något formeluttryck. (1p)

2. a) Vad menas med Umklapp-process och i vilka sammanhang har sådana processer betydelse ? (2p)

b) Med neutronspridning finner man att den maximala frekvensen, f , för longitudinella vibrationsvågor i Al erhålls för $\mathbf{k} = \mathbf{G}_{200}/2$ och uppmäts till 8.5 10^{12} Hz. Uppskatta med hjälp av detta ljudhastigheten i Al (dvs hastigheten för longitudinella vågor med stor våglängd, k<< G_{200}). (2 p)

3. a) För en frielektronlik metall uppmäts Hall-koefficienten till – 0.3 10^{-10} m^3 s^{-1} A^{-1}. I vilket våglängdsområde för infallande ljus kan man förvänta sig att metallen har en hög reflektivitet? (2p)

b) Hur många Landau-nivåer är besatta i en 2D fri-elektron-metall med kvadratiskt gitter (a=4 Å), en atom i basen och en valenselektron per atom om kristallen befinner sig i ett pålagt magnetfält med flödestätheten B = 1T riktat vinkelrätt mot provet? Du belönas med 1 p om Du som ett steg på vägen mot lösningen beräknar Fermi-energin korrekt. (2p)

4. a) Ett Si-prov innehåller 10^{22} fosfor- atomer per m^3 och hålls vid rumstemperatur. Beräkna provets konduktivitet, Fermi-nivåns läge och antalet ojoniserade P-atomer per m^3. Ställ upp de ekvationer som krävs för att lösa uppgiften. Motivera sedan de approximationer Du eventuellt gör och kolla till sist att approximationerna verkligen är OK. (3 p)

b) Bandgapet i Si kallas indirekt. Vad menas med det och vad har det för betydelse för egenskaper av tekniskt intresse? (1 p)

5. a) Redogör för Meissner-effekten och dess förklaring via London´s postulat. (3 p)

b) Beskriv kortfattat hur man experimentellt kan påvisa en supraledare

Lösn. anvisningar , tenta 070317

1. a) $S_{hkl} = f\,(1 + \exp[-i\,2\pi/a\,(h, k, l) * a/p\,(1, 1,1)\,]\,) = f\,(1 + \exp[-\,i\,2\pi/p\,(h + k + l)])$
   $S_{hkl} = 0$ om $2\,\pi/p\,(h + k + l) = \pi + 2\,m\,\pi$, dvs $(h+k+l)/p = 1/2 + m$ som ger att p måste vara ett jämnt tal.
   b) Kvadratiskt stavgitter med gitterp = $2\,\pi/a$, infallande vågvektorn längs en stav, Ewald- cirkeln skär närmsta 4 stavarna om $k > 2\pi/a$ och ger 4 bakåt- reflexer.

2. a) Se boken sid 125, Umklapp processer begränsar värmeledningsförmåga och el. ledningsförmåga och ger upphov till direkta optiska övergångar.
   b) $\omega = \omega_{max} \sin(ka/2)$ där a är avståndet mellan atomer på en linjär kedja eller här avståndet mellan atomplanen i [100] riktningen. För ljudvågor är $\lambda << a$ dvs $\omega = \omega_{max}\,(ka/2) = v\,k$, varav $v = \omega_{max}\,a/2$. Avståndet mellan närliggande atomplan är halva gitterparametern , dvs 4.05/2 Å. Detta ger $v = 2\,\pi\,8.5\,10^{12}\,2.03\,10^{-10}\,0.5$ m/s =5400 m/s.

3. a)För en frielektron-metall är $R_H = -\,1/n\,e$ och dess reflektivitet är hög för $\omega > \omega_p$, där ω_p är plasmafrekvensen som ges av $\omega_p^{\,2} = ne^2/\,\varepsilon_0\,m$. Insättning ger att $\lambda > 73$ nm.

   b) $D(E)\,dE = 2\,(A/4\pi^2)\,2\,\pi\,k\,dk$, som med $E = \hbar^2\,k^2\,/\,2\,m$ ger $D(E) = A\,m\,/\pi\,\hbar^2$ varav $E_F\,A\,m\,/\pi\,\hbar^2 = N$ = antalet elektroner i den 2D el. gasen. => $E_F = (N\,/A)\,(\pi\,\hbar^2\,/m)$ där $N/A = 1\,/a^2$ ger $E_F = 1.5$ eV.
   I ett magnetfält: $\omega = e\,B/\,m$ och kvantisering i nivåer (Landau-nivåer) separerade med $\hbar\,\omega = \hbar\,eB\,/m$. Med B = 1 T är $\hbar\,\omega = 0.116$ meV och det finns $(1.5\,/\,0.116)\,10^3$ dvs c:a 13000 ockuperade nivåer.

4. P femvärd och således donator. $N_D = 10^{22}\,m^{-3}$ betyder att tätheten dopatomer är mycket större än tätheten laddningsbärare i rent kisel. (För rent kisel är n = p och np = $2.1\,10^{31}\,m^{-6}$ enl Formelsamlingen.) I uttrycket för laddningsbalansen $n = p + N_D^{\,+}$ kan man då försumma håltätheten vid beräkning av de efterfrågade storheterna. Laddningsbalansen tillsammans med det allmänna uttrycket för n ger då
   $N_D^{\,+} = n_0 \exp[(\mu - E_g)/\,kT\,]$ där $n_0 = 2.5\,10^{25}\,m^{-3}$ för $m_e = m$. Men enl Ph. H. är

$m_e = 0.26$ m, vilket enligt det allmänna uttrycket för n ger att $n_0 = 2.5\ (0.26)^{1.5}\ 10^{25}\ m^{-3}$ $= 0.33\ 10^{25}\ m^{-3}$. Detta ger $\mu - E_g =- 0.200$ eV, dvs Fermi-nivån ligger 200 meV under ledningsbandets minimum.

Tätheten ojoniserade dopatomer, N^0, ges av $N^0 = N_D\ f\ (E_D)$ där f står för Fermi-Dirac funktionen. $f\ (E_D) = (\ Exp\ [(E_D - \mu)/\ k\ T] + 1)^{-1}$ där, enligt Phys H, $E_D = E_g - 0.045$ eV. Insättning ger $N^0 = 0.002\ N_D = 2\ 10^{19}\ m^{-3}$.

$\sigma = n\ e\ \mu_e =$ [där mobiliteten enl Ph. H. är $0.16\ m^2\ V^{-1}\ s^{-1}$] $= 10^{22}\ 1.6\ 10^{-19}\ 0.16 = 256$ A/ V m.

5. a) Se boken sid 273 och för b) sid 287.