

Tentamen i **FYSIK E del II** för E2

Lärare: Stig-Åke Lindgren, tel 7723346

Hjälpmedel: Valfri kalkylator och ett A4-blad med egenhändigt framställda anteckningar, Beta, Physics Handbook, TEFYMA eller motsvarande gymnasietabell

Rättningsprotokollet anslås senast 2006-01-12

Granskning: preliminärt 2006-01-12: se hemsidan för närmre och definitiv info.

1. Vid en strukturundersökning av ett visst kristallint ämne med kubisk struktur använde man sig av neutroner med den väldefinierade hastigheten 2,60 km/s och uppmätte vid rumstemperatur de sex minsta Bragg-vinklarna till 15,7°, 18,2°, 26,2°, 31,1°, 32,7° och 38,6°.

Bestäm kristallstruktur och gitterkonstant.

(tillåtna reflexer för olika kubiska strukturer: se sista sidan)

(4p)

- 2.a Vid α -sönderfall har de utsända α -partiklarna några få skarpt definierade energier (diskret spektrum). Vid β -sönderfall erhålles däremot en bred energifördelning hos β -partiklarna. Varför erhålles inte ett diskret energispektrum även i det senare fallet?

(1p)

- 2.b Genom att bestråla ${}^{11}_5\text{B}$ med α -strålning kan man bilda ${}^{10}_5\text{B}$ enligt :
$${}^{11}_5\text{B} + \alpha \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + x$$

Identifiera den okända partikeln x och beräkna därefter reaktionens Q- värde.

(atommassorna för ${}^{11}\text{B}$ och ${}^{10}\text{B}$ är 11,009305 u resp. 10,012939 u)

(3p)

3. En elektron med hög hastigheten kolliderar med en positron som befinner sig i vila varvid både elektronen och positronen förintas (annihileras) och två fotoner bildas. Den ena fotonen som har samma rörelseriktning som den ursprungliga elektronen har dubbelt så hög energi som den andra fotonen. Rita en lämplig figur och bestäm sedan den ursprungliga elektronens hastighet.
(elektronens viloenergi = positronens viloenergi)

(4p)

4. I metallen aluminium kan ledningselektronerna (3 per atom) som en god approximation uppfattas som en gas av fria elektroner. Fermienergin är 11,6 eV och utträdesarbetet är 4,3 eV.
- Rita en potentialgrop och skissa hur elektrontätheten per energienhet varierar med elektronenergin i gropen. Utefter energiaxeln i figuren skall Du också markera följande tre saker: botten av ledningsbandet (U_0); Ferminivån (E_F) samt vakuumnivån (U_V). Energiavstånden mellan U_0 , E_F och U_V skall anges numeriskt.
 - Antag rumstemperatur (20 °C) och beräkna hur stor sannolikheten är att ett tillstånd 4,3 eV ovanför Fermienergin är ockuperat av en elektron.
 - Hur stor bråkdel av metallens ledningselektroner har energier över vakuumnivån (dvs. hur stor andel av elektronerna i gropen har vad totala energin beträffar möjlighet att övervinna potentialsteget vid metallytan och sålunda lämna metallen (termiskt emitteras))? Här behöver Du inte utföra några numeriska beräkningar utan endast skriva ner ett matematiskt uttryck. Åskådliggör gärna på lämpligt sätt i figuren.
 - Antag att en elektron med kinetiska energin 2,0 eV i vakuum rör sig vinkelrätt mot aluminiumytan. Hur stor blir den procentuella ändringen av denna elektrons hastighet om den passerar genom ytan och in i gropen utan att råka ut för några inelastiska kollisioner? (4p)
- 5.a För en viss rumstempererad halvledare gäller att effektiva massorna för elektroner och hål har samma värde. Antag att halvledaren n-dopas så att elektrontätheten fördubblas (jämfört med helt rent och odopad prov). Hur mycket ändras håltätheten? (Svara i procent). Hur mycket ändras Fermienergin? (Svara i eV med tecken) (obs. 2 frågor) (2p)
- 5.b Cu är en metall med ytcentrerad kubisk struktur (fcc) och gitterkonstant 3,6 Å. Hur lång är den reciproka gittervektor som associeras med det näst största planavståndet i Cu (som kan ge en röntgenreflex vid en strukturbestämning med röntgen)? (Svara numeriskt och med enhet; det är tillåtet att studera tabellen på sista sidan) och hur stor skall röntgenvåglängden vara för att k-vektorn hos en reflekterad stråle mot dessa plan skall avvika med en vinkel på 60° med k-vektorn för en inkommande röntgenstråle? (obs. 2 frågor) (2p)

6. En halvledares elektriska ledningsförmåga är beroende av bl a dopningen. Eftersom mobiliteten för elektroner och hål är olika har ledningsförmågan inget absolut minimum när halvledaren är odopad. Med vad (acceptorer eller donatorer) och till vilken koncentration (uttryckt i m^{-3}) skall ett halvledarprov dopas för att ledningsförmågan skall bli minimal?
 Vid rådande temperatur är $n \cdot p = 2,25 \cdot 10^{32} m^{-6}$ och alla dopatomer kan betraktas som joniserade. Elektron- och hålmobiliteterna är 0,16 och 0,04 m^2/Vs respektive (4p)
7. Sätt ett X i ruta 7 på omslaget och skriv din namnteckning på raden till höger om krysset om Du godkänner att ditt tentamensresultat och din CTH-kod publiceras på kursens hemsida (tillämpbart endast om inte tentamensresultatet är anslaget på avsedd anslagstavla i E-huset senast fredagen den 16 december).

Figur till uppgift 1

Tillåtna reflexer för olika kubiska strukturer:

	0	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	24	
Simple cubic																							
Body-centered cubic																							
Face-centered cubic																							
Diamond cubic																							

} $H^2 + K^2 + L^2$

① Bragg: $2d_{hkl} \sin \theta = \lambda$ där $\lambda = \frac{h}{m_n v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ m}}{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 2,6 \cdot 10^3} = 1,53 \text{ \AA}$

$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \Rightarrow \frac{\sin^2 \theta}{h^2 + k^2 + l^2} = \frac{\lambda^2}{4a^2} = \text{konstant om } h^2 + k^2 + l^2 = 34,811, \dots$ (dvs FCC)

$\frac{\sin^2 15,7^\circ}{3} = \frac{\sin^2 18,2^\circ}{4} = \frac{\sin^2 26,2^\circ}{8} = \dots = 0,0244 = \frac{\lambda^2}{4a^2} \Rightarrow a = 4,9 \text{ \AA} = \text{Svar}$

② a) α -sönderfall: $X \rightarrow Y + \alpha$; β -sönderfall: $X \rightarrow Y + \beta + \bar{\nu}$

b) $X + {}_5^{11}\text{B} \rightarrow {}_5^{10}\text{B} + {}_2^4\text{X}$ { Massantal bevaras: $11 = 10 + A \Rightarrow A = 1$ }
 { Laddning bevaras: $5 = 5 + Z \Rightarrow Z = 0$ } $\Rightarrow X = \text{neutron } ({}^1_0\text{n})$

$Q = [m({}_5^{11}\text{B}) - m({}_5^{10}\text{B}) - m({}_2^4\text{He})]c^2 = [11,009305 - 10,012739 - 4,002603] \cdot c^2 = -11,46 \text{ MeV} = \text{Svar}$

neutrone som för hand om stort del av sönderfallsenergin

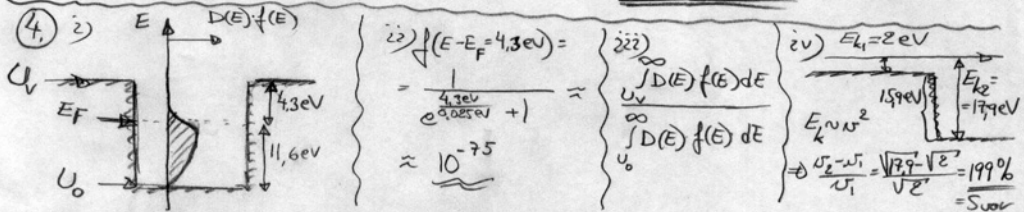
③ $e^- \rightarrow E_1$, $\nu \rightarrow E_2$, $e^+ \rightarrow E_3 = 2E_2$ (enligt uppsätt)

Energi bevaras: $E_1 + E_0 = E_2 + E_3 = 3E_2 \dots ①$
 Förvägning bevaras: $p_1 + 0 = -\frac{E_2}{c} + \frac{E_3}{c} = \frac{E_2}{c} \dots ②$

\Rightarrow Kvadrera ① $\Rightarrow E_1^2 = (3E_2 - E_0)^2$
 Kvadrera ② $\Rightarrow p_1^2 c^2 = E_2^2$ } \Rightarrow subtrahera ledvis $\Rightarrow E_0^2 = (3E_2 - E_0)^2 - E_2^2 = 9E_2^2 - 6E_2 E_0 + E_0^2 - E_2^2$
 $\Rightarrow 8E_2^2 = 6E_2 E_0 \Rightarrow E_2 = \frac{3}{4} E_0$

\therefore ekv ① $\Rightarrow E_1 = 3E_2 - E_0 = 3 \cdot \frac{3}{4} E_0 - E_0 = \frac{5}{4} E_0$ men $E_1 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
 $\Rightarrow \frac{E_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{5}{4} E_0 \Rightarrow \sqrt{1 - v^2/c^2} = \frac{4}{5} \Rightarrow \frac{v}{c} = 0,6 = \text{Svar}$

Samband mellan E_1 , p och E_0 för elektronen: $E_1^2 = E_0^2 + p^2 c^2$



⑤ a) $n_p = n_i^2$; $n_n = 2n_i \Rightarrow p = \frac{1}{2} n_i$ dvs håltalet halveras (minskar med 50%)

$n_i = \sqrt{n_0 p_0} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$ där $n_0 = p_0$ eftersom $w_e^* = w_h^*$ } $\frac{n}{n_i} = \frac{e^{-\frac{E_g}{kT}}}{e^{-\frac{E_g}{2kT}}} = 2 \Rightarrow \mu = \frac{1}{2} E_g + kT \ln 2$

$n = n_0 e^{-\frac{E_g - \mu}{kT}}$ } $\mu = \frac{1}{2} E_g$ (med $\frac{E_g}{kT} \gg 1$)

b) $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{a}{2,00}$; $G = \frac{2\pi}{a} \cdot 2 \cdot x$ dvs $|G_{200}| = \frac{4\pi}{a} = 7$
 $\Rightarrow 4 - \mu = kT \ln 2 \Rightarrow \dots$ (Svar)

⑥ $n_p = n_i^2$
 $n = n_e + p = n_e + \frac{n_i^2}{n_e}$ } $\frac{d}{dn} = 0 = e \mu_e + \left(-\frac{n_i^2}{n_e^2}\right) e \mu_h \Rightarrow \frac{n_i^2}{n_e} = \frac{\mu_e}{\mu_h}$

Sök minimum

Dopantkoncentrationen $= p - n = (2 - \frac{1}{2}) n_i = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{2,25 \cdot 10^{32}} = 2,25 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$
 $\Rightarrow p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{n_i^2}{\frac{1}{2} n_i} = 2n_i$

$n > p \therefore$ acceptordopning (Svar)