

Tfy-0.2011 Fysiikka IIIB

Tentti, 18.12.2009

Hakola, Kurki-Suonio

Kurssin voi suorittaa vaihtoehdon A tai B mukaisesti.

Vaihtoehto A: vastaan **jokaiseen** tehtävään; kurssiarvosananani määräytyy tämän tentin perusteella eikä laskuharjoituspisteitä oteta huomioon.

Vaihtoehto B: vastaan valintani mukaan korkeintaan **neljään** tehtävään; kurssiarvosananani määräytyy sekä tämän tentin että laskuharjoituspisteitteni perusteella.

Kirjoita jokaiseen palauttamaasi paperiin, kumman vaihtoehdon olet valinnut! Mikäli tämä ei käy selvästi ilmi tai vaihtoehdosta B huolimatta vastaat viiteen tehtävään, koe arvostellaan vaihtoehdon A mukaisesti. Kokeessa ei saa käyttää laskinta eikä mitään apumateriaalia.

1. Olet saanut tutkittavaksesi yhden mummon perintöhopealusikoista. Haluat selvittää näytteen ominaisuudet tarkasti, ja sitä varten sinun on tiedettävä keskimääräinen energia E_{ave} hopean valenssielektronien muodostamassa elektronikaasussa. Laske tämä keskimääräinen energia huoneenlämpötilassa ($T \approx 300$ K) (i) Maxwell-Boltzmann- ja (ii) Fermi-Dirac-statistiikkaa apunasi käyttäen ja vertaa saamiasi lukuaroja toisiinsa. Kumpi lähestymistapa antaa mielestäsi järkevämpiä tuloksia ja miksi?

(i)-kohdassa sinua auttaa tieto, että differentiaalinen hiukkaslukumäärä differentiaalisella energiovälillä on $dN = \frac{N}{Z} D(E) g(E) e^{-E/(k_B T)} dE$, missä N on hiukkasten kokonaislukumäärä, $D(E)$ on degeneraatio, $g(E) = \frac{2\pi V}{h^3} (2m)^{3/2} E^{1/2}$ on tilatiheys ja Z on partitiofunktio eli tilasumma (jonka lausekkeen joudut nyt laskemaan). (ii)-kohdassa voit puolestaan approksimoida Fermi-Dirac-jakaumaa nollalämpötilan (siis $T = 0$ K) tuloksella. Hopealla on yksi valenssielektroni, tiheys on $\rho_m \approx 11 \cdot 10^3$ kg/m³ ja moolimassa $M \approx 108$ g/mol. Lisää aputietoja löytyy koepaperin lopusta. Lausekkeet ja suuruusluokka-arviot riittävät vastaukseksi. (8p)

2. *Viimeistä päivää* -lehti on päättänyt nostaa sisäisivujensa älyllistä tasoa ja kertoa tästä lähtien Martin ja Mervin sekä BB-hörhöjen uusimpien kommellusten ohella myös tieteen suurista saavutuksista. Olet saanut lehdelta pyynnön kirjoittaa seuraavaan numeroon artikkeli ympärillämme olevista kiinteän aineen eri olo- ja ilmenemismuodoista. Kerro esseessäsi ainakin, mitä kaikkia olo- ja ilmenemismuotoja ympäriltämme löytyy, millaisia fysikaalisia ominaisuuksia (kuten sähkön- ja lämmönjohtavuus, kovuus, lujuus, absorptiokyky, sulamispiste jne.) erilaisilla aineilla on, miten eri aineet pysyvät koossa ja miten atomit ovat asettuneet niihin sekä missä kohdin tarvitsemme kvanttimekaniikan tuloksia avuksemme. Halutessasi voit lähestyä aihetta muutamien esimerkkiaineiden kuten muovin, puun, raudan, piin ja jään avulla. (8p)

3. Kuvassa 1 on esitetty kahden kiinteän aineen, hopean ja germaniumin resistiivisyys lämpötilan funktiona.

a) Selitä kurssillasi oppimiesi tietojen avulla, miksi käyrät ovat sellaisia kuin ovat. Toisin sanoen: mitä kvanttimekaniikka kertoo meille hopean ja germaniumin resistiivisyydestä eri lämpötila-alueilla? Kiinnitä myös huomiota siihen, että kolmella eri germaniumnäytteellä resistiivisyys on hyvin erilainen matalissa lämpötiloissa. Mistä tämä johtuu? (4p)

b) Määritä kuvan avulla seuraavat asiat: (i) kuinka paljon hopeanäytteeseen on seostettu kadmiumia, kun tiedetään, että yhden atomiprosentin seostussuhteella kappaleen jäännösresistiivisyys on $0,40 \mu\Omega$ cm? (ii) mikä on germaniumin energia-aukon suuruus? (iii) kuinka monta prosenttia toisaalta hopean ja toisaalta germaniumnäytteen 1 sähkönjohtavuus paranee/huononee, kun lämpötila nousee 300 K:stä 310 K:iin? Lausekkeet ja suuruusluokka-arviot riittävät vastaukseksi. (iii)-kohdassa germaniumin tapauksessa riittää lauseke sekä sanallinen arvio suuruusluokasta. (4p)

KÄÄNNÄ

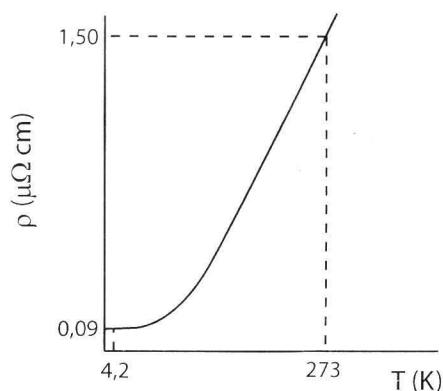
4. Seuraavassa on joukko kysymyksiä, joihin sinun pitäisi tarjota lyhyt, ytimekäs, kattava ja uskottava vastaus.
- Kurssilla puhuttiin monessa eri yhteydessä lasereista sekä niiden toimintaperiaatteista. Mikä rooli stimuloidulla emissiolla, metastabiililla tilalla sekä resonaattorilla on lasertoiminnassa? (2p)
 - Aineen rakennetta tarkasteltaessa puhuttiin myös Bose–Einstein-kondensaatista sekä degene-roituneesta fermionikaasusta. Mistä näissä oudoissa olotiloissa on kyse ja missä olosuhteissa niitä päästään havainnoimaan? (2p)
 - Monet kiinteän aineen ominaisuuksista pystyttiin selittämään vyörakenteen avulla. Mitä tällä vyörakenteella tarkoitetaan, miksi kiinteästä aineesta sellainen löytyy ja miten Brillouinin vyöhykkeet liittyvät asiaan? (2p)
 - Ydinfysiikan osuudessa puhuttiin α - ja β -hajoamisista. Millaiset ytimet hajoavat milläkin tavalla ja mitä α - ja β -hajoamisessa ytimelle oikein tapahtuu kvanttimekaniikan näkökulmasta? (2p)
5. a) *Viimeistä päivää* -lehti on kovin mielissään kiinteän aineen rakennetta käsittelevästä artikkelista. Nyt päätoimittaja haluaa sinun kirjoittavan lyhyen ja ytimekkään tietopläjäyksen fissiosta. Kerro siis lukijoille, mitä tarkoitetaan fissiolla, millaisilla alkuaineilla fissio havaitaan ja miksi sekä mitä rooleja neutroneilla on fissiossa. (3p)
- b) Toivon mukaan olet oppinut kurssilla, että fissioreaktorissa neutronit pitää hidastaa termisiksi ennen kuin reaktioita voi tapahtua. Lähtien energian ja liikemäärän säilymislaeista laske, kuinka monta kertaa neutronin pitää törmätä täysin keskeisesti (sironnakulma $\theta = 180^\circ$) le-vossa olevaan hidastinaineen ytimeen, jotta neutronin energia pienenesi 1 MeV:sta 10 meV:iin, kun hidastinaine on deuteriumia (^2H) tai grafiittia (^{12}C). Hidastinaineen ytimen massan suh-detta neutronin massaan voidaan approksimoida hidastinaineen massaluvulla A , ja pienten energioiden ansiosta voit tehdä tarkastelut epärelativistisella alueella ts. $T = \frac{p^2}{2m}$. (5p)

Aputietoja:

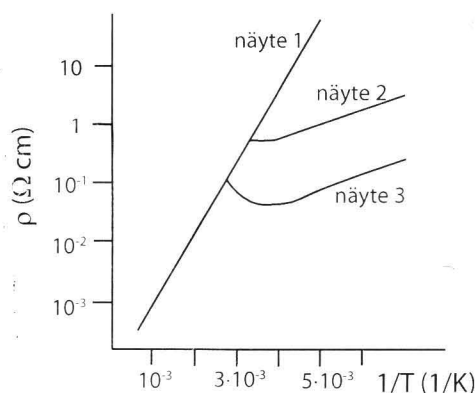
$$h \approx 7 \cdot 10^{-31} \text{ Js}, k_B \approx 1 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, m_e \approx 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}, N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$$

$$\int_a^b f(x)g'(x) dx = \int_a^b f(x)g(x) - \int_a^b f'(x)g(x) dx, \quad \int_0^\infty x^{1/2} e^{-x} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

$$\ln 10 \approx 2.3; \ln 3 \approx 1.1; \ln(1+x) \approx x, \text{ kun } 0 \leq x \ll 1$$



(a)



(b)

Kuva 1: (a) Hopeanäytteen resistiivisyys lämpötilan funktiona. (b) Kolmen eri germaniumnäytteen resis-tiivisyys $1/T$:n funktiona.