
TENTTIOHJEET

Vastaa kaikkiin kysymyksiin (mukaan lukien mahdolliset a-, b-, ja c-kohdat). Jokainen kysymys on 5 pisteen arvoinen, ja tentissä on 5 kysymystä, max. pisteet 25 p. Näytä laskuissa tarvittavat yhtälöt, välivaiheet, sijoitukset (myös välivaiheiden sijoitukset), yksikkömuunnokset ja pyöristykset. Tenttipaperin lopussa on joitakin yhtälöitä, mutta lista ei välttämättä ole täydellinen.

Koska materiaali on sallittua, **tentissä arvostellaan ensisijaisesti ymmärryksen syvyyttä** eikä niinkään faktojen lukumäärää. Saat siis käyttää kurssikirjaa ja kurssilla jaettua materiaalia sekä googlata. Voit myös kopioida kuvia/kaavioita muualta, mutta ne pitää aina myös selittää omin sanoin. **Kaiken tekstin tulee kuitenkin olla omaa tekstiä, ei kopioitua muualta.**

Voit tehdä tentin yksin tai ryhmässä, kuten viikko sitten on päätetty: ryhmä tekee yhden palautuksen, ja kaikki saavat samat pisteet. **Kommunikointi ryhmän sisällä on sallittua, mutta ryhmän ulkopuolelle kommunikointi on kielletty, mukaan lukien nettichatit, keskustelupalstat jne.: sama sääntö pätee, jos tekee tentin yksin.**

Voit vastata koneella ja/tai kynällä ja paperilla – **palauta vastauksesi kuitenkin yhdessä pdf-tiedostossa.** Jos vastaat kynällä ja paperilla, ota vastauksista kuvat, (liitä kuva tarvittaessa Wordiin muiden kysymysten väliin), muuta pdf-tiedostoksi ja palauta MyCoursesiin. Tarkista, mettä kaikki teksti ja kuvat luettavissa.

Tenttiaika 4 h + 30 minuuttia lisäaikaa palautuksen tekoon.

- **Tee tenttiä 4 h ja käytä 30 min lisäaika pdf:ksi muuntamiseen ja palatukseen**
- **Vain MyCoursesiin ajoissa tehdyt palautukset arvostellaan.**
  - **MyCourses hyväksyy vain palautukset, jos olet ilmoittautunut tenttiryhmään (vaikka tekisit yksin)**
  - **MyCourses hyväksyy vain .pdf-tiedostot**
- **HÄTÄTILANNE (esim. MyCourses-kaatuu, palautuslaatikko ei toimi):**
  - Soita 050 592 3690 (Kirsi Yliniemi)
  - Saat luvan sähköpostipalautukseen.
  - Sähköpostipalautus pitää tehdä myös pdf:nä, (erittäin harvinaisessa hätätilanteessa .doc. tai .docx tiedostot voivat luvan kanssa olla mahdollisia).
  - Sähköpostipalautus pitää myös tehdä ajoissa, ennen tenttiajan päättymistä: kirsi.yliniemi@aalto.fi
  - **Tee lopullinen palautus kuitenkin MyCoursesiin HETI, kun se on mahdollista. Vain MC-palautus arvostellaan.**

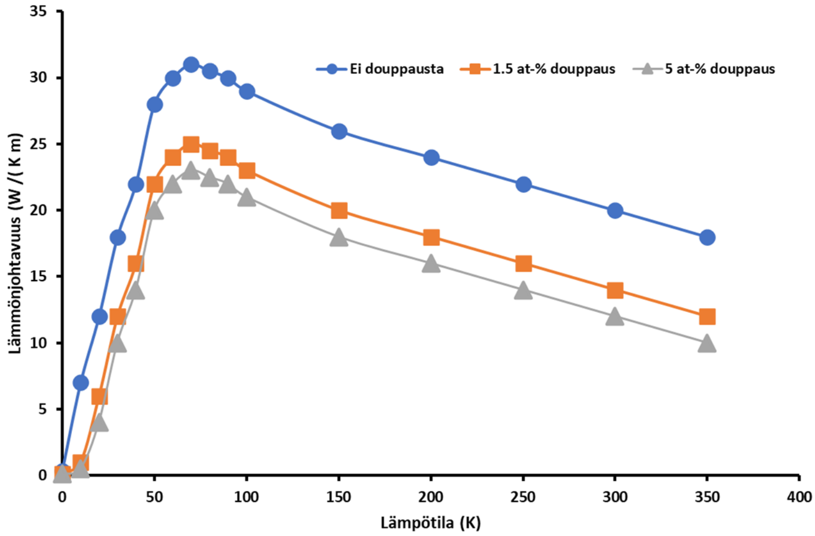
CHEM-C2450 Materiaalien ominaisuudet
Kurssitentti: 17.5.2022

Tehtävä 1:
Johteiden ja puolijohteiden johtavuus lämpötilan funktiona: selitä perusteellisesti ja syvää ymmärrystä osoittaen, miten nämä materiaalityypit ylipäätään johtavat sähköä ja miten lämpötila vaikuttaa niiden johtavuuteen.

Tehtävä 2:
Ytterbiumilla doupattua läpinäkyvää keraamia ($Yb:CaF_2$) voidaan hyödyntää mm. lasereissa. Alla oleva kuvaaja esittää $Yb:CaF_2$ -keraamin lämmönjohtavuuden lämpötilan funktiona eri douppauskonsentraatiossa (ei Yb-douppausta, 1.5 at-%:n Yb-douppaus ja 5 at-%:n Yb douppaus).
Selitä perusteista lähtien havaittu lämmönjohtavuuden käyttäytyminen lämpötilan funktiona eli

(i) miksi douppaamattoman keraamin lämmönjohtavuus käyttäytyy lämpötilan funktiona, kuten se käyttäytyy ja
(ii) miksi keraamin douppaus vaikuttaa lämmönjohtavuuteen alla olevan kuvaajan tavoin.

Perusteellinen selitys = muista myös selittää yleisellä tasolla, mitä on lämmönjohtavuus ja miten se tapahtuu eri tyyppisille materiaaleille.



Kuva: Ytterbiumilla doupatun keraamin ($Yb:CaF_2$) lämmönjohtavuus (κ) lämpötilan (T) funktiona eri douppauskonsentraatioissa (at% = atomi-%).

Tehtävä 3:
Mitä tarkoittaa magneettisen dipolimomentin orbitaalikomponentin vaimentuminen (quenching) ja mistä se johtuu? Miten se vaikuttaa magneettiseen kytkentään ja miten materiaalin magnetisaatioon? Miksi useiden siirtymämetallien magneettisen dipolimomentin orbitaalikomponentti vaimentuu, toisin kuin lantanoideilla? Muista selittää perusteellisesti (mm. selitä myös, mitä on kytkentä).

Tehtävä 4:

(a) Ohuen pietsosähköisen kalvon paksuuden muutos voidaan laskea oheisella kaavalla käänteisessä pietsosähköisessä ilmiössä:

$$\Delta l \approx d_{33} V$$

missä Δl on kalvon paksuuden muutos, d_{33} on pietsosähköinen vakio ko. materiaalille ja V kalvon läpi asetettu potentiaaliero.

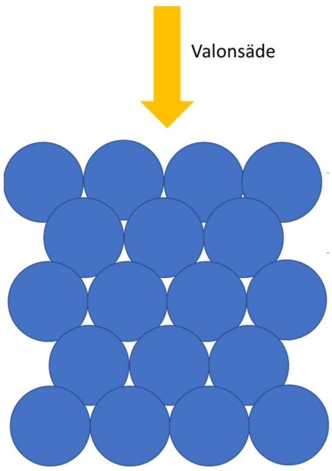
Todista, että kalvon paksuuden kokonaismuutos Δl voidaan tosiaan määrittää tietämättä alkuperäistä kalvon paksuutta l, yllä esitettyä yhtälöä käyttäen. *Vihje: Paksuuden muutos tapahtuu samaan suuntaan kuin potentiaaliero on asetettu (→ 33).*

(b) Elektretin eli ohuen dielektrisen kalvon pietsosähköinen vakio d_{33} on $175 \cdot 10^{-12}$ C/N. Laske yksittäisen kalvon paksuuden muutos, kun 459 V:n potentiaaliero asetetaan 0.13 mm:n paksun kalvon läpi. Paksuuden muutos tapahtuu samaan suuntaan kuin potentiaaliero on asetettu.

Tehtävä 5:

(a) Selitä, mitä tarkoitetaan optisilla kuiduilla ja miten ne toimivat. Millaisia materiaaliongelmia niissä havaitaan ja millaisia materiaaliratkaisuja käytetään ko. ongelmien minimoimisessa ja/tai ehkäisemisessä?

(b) Fotonihila muodostuu polystyreenipalloista, jotka pakkautuvat järjestelmällisesti kerroksina materiaaliin, ks. kuva. Polystyreenin taitekerroin on 1.595 ja yhden polystyreenipallon säde on 255 nm. Päällekkäisten polystyreenikerroksien välin arvioidaan olevan 80 % halkaisijasta. Määritä laskemalla, mikä valon aallonpituus ei pääse etenemään ko. fotonihilassa polystyreenikerrosten läpi, kun valo tulee kohtisuoraan pintaa kohden. Mitä väriä tämä vastaa?



Kuva: Fotonihila, johon valo osuu kohtisuoraan polystyreenikerrosten suhteen.

Fysikaalisia vakioita

- Alkeisvaraus (e) =0.1602177·10^{-18} C =0.1602177·10^{-18} As
- Elektronin massa (m_e) =9.10939·10^{-31} kg
- Protonin massa (m_h)=1.67262·10^{-27} kg
- Planckin vakio (h) = 6.6261·10^{-34} Js=4.1357·10^{-15} eVs
- Redusoitu Planckin vakio ($\hbar$) = $h/(2\pi)$
- Tyhjiön permittiivisyys (ε_0) = 8.8542·10^{-12} C/Vm =8.8542·10^{-12} As/Vm=8.8542·10^{-12} F/m
- Tyhjiön permeabiliteetti (μ_0) = 0.4π·10^{-6} N/A^2=0.4π·10^{-6} H/m
- Valonnopeus tyhjiössä (c) = 2.9979·10^8 m/s
- Boltzmannin vakio (k_B) = 1.3807·10^{-23} J/K
- Painovoiman kiihtyvyys (g) = 9.81 m/s^2
- Bohrin magnetoni (μ_B) = 9.2740·10^{-24} Am^2=9.2740·10^{-24} J/T
- Faradayn vakio (F) =96 485.31 C/mol
- Ideaalinen kaasuvakio (R) = 8.31451 J/(K mol)
- Avogadron luku (N_A)= 6.02214 ·10^{23} mol^{-1}
- Elektronivoltti (eV) = 1 e· 1V = 1.602·10^{-19} J

$$\mathrm{C} = \mathrm{As} = \mathrm{FV} \qquad \mathrm{J} = \frac{\mathrm{kg\,m^2}}{\mathrm{s^2}} = \mathrm{Nm} = \mathrm{CV}$$

$$\Omega = \frac{\mathrm{kg\,m^2}}{\mathrm{s^3A^2}} \qquad \mathrm{F} = \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V}} = \frac{\mathrm{As}}{\mathrm{V}} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{V^2}}$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \qquad E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\varphi(x) = A\sin kx + B\cos kx \qquad k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$$

$$\varphi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}}\sin\left(\frac{n\pi}{l}x\right) = A'e^{i\frac{n\pi}{l}x} - A'e^{-i\frac{n\pi}{l}x} \qquad E(n_x, n_y, n_z) = \frac{h^2}{8ma^2}(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$$

$$P(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}}+1} \qquad N(E) = \frac{V}{2\pi^2}\left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}E^{1/2}$$

$$E_F = \frac{h^2}{8m_e}\left(\frac{3N}{\pi V}\right)^{2/3} \qquad E_F = \frac{1}{2}E_g + \frac{3}{4}k_BTln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right)$$

$$\gamma = \frac{m_e^* v}{eE} \qquad v = a\tau = \frac{-e\mathrm{E}\tau}{m_e^*}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{ne^2\tau}{m_e^*} \qquad \tau = \frac{1}{\gamma}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \qquad \rho_e = ne$$

$$\rho = \frac{\gamma m}{e\rho_e} \qquad \Lambda = \tau v_F$$

$$\mathbf{m}_{atom} = g_J\mu_B\sqrt{J(J+1)} \qquad \mathbf{m}_{atom} = \mu_B\sqrt{n(n+2)}$$

$$\mathbf{m}_{atom} = 2\mu_B\sqrt{S(S+1)} \qquad \mu_B = \frac{eh}{4\pi m_e}$$

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)} \qquad \mathbf{M}_S = N\mathbf{m}_{\mathrm{eff}}\mu_B$$

CHEM-C2450 Materiaalien ominaisuudet
Kurssitentti: 17.5.2022

$\mathbf{M} = N\langle \mathbf{m} \rangle$

$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mu_0 \mathbf{M}$

$\mathbf{B} = \mu_0 I \frac{N}{L}$

$\mathbf{B} = \mu\,(\mathbf{H} + \mathbf{M})$

$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H}$

$\boldsymbol{\chi} = \frac{\boldsymbol{C}}{\boldsymbol{T-\theta}}$

$\frac{1}{\chi} = \frac{T}{C} + \frac{1}{\chi_0} + \frac{\xi}{T-\theta}$

$\rho_{TOT} = \rho_{epäpuhtaus} + \rho_{lämpötila}$

$\rho(T) = \rho_0 + aT$

$\rho_{epäpuhtaus} = Ac_{epäpuhtaus}(1 - c_{epäpuhtaus})$

$\kappa = L_0 \sigma T + \mathrm{C}$

$Q_t = A \sum_i \kappa_i \frac{dT}{dx} t$

$Q_t = \gamma A \frac{dT}{dx}$

$E = \left(n + \frac{1}{2}\right) h\nu$

$C_v \approx AT^3$

$\Delta Q = \tau I t \Delta T$

$\Delta V = \Sigma_{AB} \Delta T$

$\Delta Q = \Pi_{AB} I t$

$\rho_{TOT} = \rho_0 + aT$

$\alpha = \frac{1}{l} \frac{dl}{dT}$

$\alpha_m = \frac{l_f - l_i}{(T_f - T_i) l_i} = \frac{\Delta l}{\Delta T l_i}$

$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi \mathbf{E_0} = (\varepsilon_r - 1)\varepsilon_0 \mathbf{E_0}$

$\mathbf{E}_{loc} = \boldsymbol{E_0} + \frac{\mathbf{P}}{3\varepsilon_0}$

$\mathbf{P} = \sum_j n_j \alpha_j \mathbf{E}_{loc}$

$\mathbf{P} = \sum_j n_j \alpha_j \left(\mathbf{E}_0 + \frac{\mathbf{P}}{3\varepsilon_0}\right)$

$\frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} = \frac{N\alpha}{3\varepsilon_0}$

$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{N\alpha_e}{3\varepsilon_0}$

$\alpha' = \frac{3V_m}{4\pi} \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2}$

$\alpha_e' = \frac{3V_m}{4\pi} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}$

$\alpha' = \frac{\alpha}{4\pi\varepsilon_0}$

$\mathbf{P} = aq$

$D = \varepsilon_0(1 + \chi)E = \varepsilon_0 \varepsilon_r E = \varepsilon E$

$\mathbf{p} = q\Delta d$

$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$

$\mathcal{E}_y = \mathcal{E}_0 \cos\left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(x - vt) + \phi\right]$

$I_x = I_0 e^{-\alpha_e x}$

$I_0 = I_r + I_s + I_a + I_t$

$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$

$[d] = n_1 t_1 + n_1 t_1$

$N = n + ik$

$R = r^2 = \left(\frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}\right)^2$

$R = \frac{(n_1 - n_0)^2 + k^2}{(n_1 - n_0)^2 + k^2}$

$[p] = 2[d] = 2nt$

$[p] = 2nt = m\lambda$

$[p] = 2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$

$[p] = 2nt\cos\theta_2 = m\lambda$

$[p] = 2nt\cos\theta_2 = (m + {}^1/_2)\lambda$