

2. välikoe ja tentti 12.5.2011

- Ympyröidyt kysymykset (1, 2, 3, 4, 5a ja 5b) kuuluvat 2. välikokeeseen.
- Neliöidyt kysymykset (3, 4, 5b, 5c, 6 ja 7) kuuluvat tenttiin.
- **Välikokeessa saa käyttää laskinta, mutta se ei saa olla ohjelmoitava!**
Jos et ole varma laskimestasi, kysy valvojalta **ennen** kuin aloitat tentin.
- Kääntöpuolella kaavoja ja vakioita.
- Jos olet suorittanut laskuharjoitukset aiemmin, merkitse suoritustuosi nimesi viereen.

① CO-molekyylin sidospituus on 0.113 nm. Sen värähtelyä voidaan kuvata harmonisena oskillaattorina, jonka jousivakio on 1900 N/m. Atomien massat ovat C: 12.00 u ja O: 16.00 u. a) Fotoni virittää molekyylin värähtelyn perustilalta ensimmäiselle viritetylle tilalle. Mikä on fotonin taajuus, jos ei huomioida molekyylin rotaatiotilaa lainkaan? b) Kuinka paljon tulos (viritykseen tarvittavan fotonin taajuus) muuttuu prosentuaalisesti, kun otetaan huomioon myös se, että samalla rotaatiotila muuttuu perustilalta ensimmäiselle viritetylle?

② a) Laske karakteristisen K_{α} -röntgensäteilyn aallonpituus kalsiumille ($Z=20$). b) Miten voit johdtaa käyttämäsi kaavan (Moseleyn laki) lähtemällä efektiivisen ydinvarauksen (Z_{eff}) käyttämisestä elektronitilojen energioiden ja niiden välisten transitioiden laskuissa? Perusteluista saa pisteitä.

③ Oheisessa kuvassa on vyökaavio, jossa on kuvattuna tietyn materiaalin valenssi- ja johtavuusvyöt. Energiat -3.0 eV, -1.2 eV, 1.2 eV ja 2.8 eV kuvaavat vöiden ala- ja yläreunoja, kun energian nollataso on valittu Fermi-energialle.

a) Kuinka hyvin arvioisit materiaalin johtavan sähköä huoneenlämpötilassa? Perustele!

b) Mitä valon aallonpituuksia materiaali voi absorboida transitiioissa (siirtymissä) näiden vöiden välillä, kun lämpötila on lähellä absoluuttista nollapistettä?

④ Ydinreaktorin fissioiden tuotteena syntyy $^{140}_{56}\text{Ba}$ ytimiä, jotka hajoavat $^{140}_{57}\text{La}$ ytimiksi. a) Mikä hajoamistyyppi on kyseessä? Kirjoita hajoamisytälö.

b) Laske yhdessä hajoamisessa vapautuva energia.

c) $^{140}_{56}\text{Ba}$:n puoliintumisaika on 12.75 vuorokautta. Jos reaktorin fissioreaktioiden loppuessa reaktorissa on 5.0 kg $^{140}_{56}\text{Ba}$:tä, kuinka paljon sen hajoamisissa vapautuu energiaa ensimmäisen 1.00 vuorokauden aikana? Atomien massat: $M(^{140}_{56}\text{Ba})=139.910605$ u, $M(^{140}_{57}\text{La})=139.909478$ u.

⑤ Selitä lyhyesti:

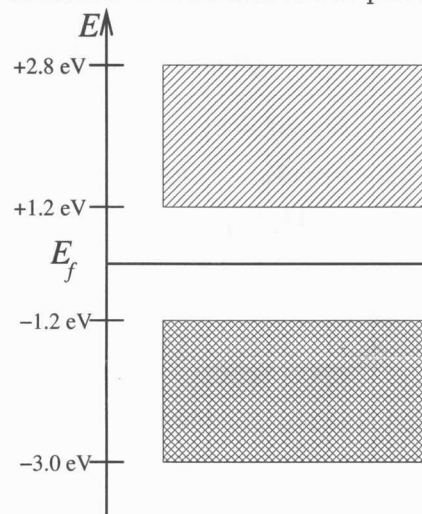
(a) Miten hiukkaskuvauksen kvarkkimallin avulla voidaan selittää neutronin nollan suuruinen nettovaraus ja nollasta poikkeava magneettinen dipolimomentti? (2p)

(b) Selitä puolijohteiden np-liitoksen toiminta, erityisesti mitä ovat rekombinaatio- ja generaatiovirrat (eli diffuusio- ja drift-virrat). Piirrä kuva liitosalueen energiavöistä. (4p)

(c) Miten mustan kappaleen säteilyn aallonpituusjakauma muuttuu, kun sen lämpötila kasvaa? (2p)

⑥ (a) Vapaan myonin elinikä on n. $2.2\mu\text{s}$ lepokoordinaatistossa. Mikä on myonin elinikä koordinaatistossa, jossa myonin nopeus on $0.90c$. (b) Edellisen kohdan myonin nopeus $0.90c$ on suoraan maata kohti. Maasta ammutaan myonia kohti lepopituudeltaan 3.0 m pitkä raketti nopeudella $0.50c$ maan suhteen. Mikä on raketin pituus myonin koordinaatistossa?

⑦ Alumiinille mitataan valosähköistä ilmiötä: Kun pintaa säteilytetään eri aallonpituuksisella (λ) valolla, pinnasta lähtevien elektronien pysäyttämiseen tarvitaan kullekin aallonpituudelle eri pysäytyspotentiali (V). Mittaustuloksena saadaan sarja $\lambda = 234\text{nm}$, $V = 1.0\text{V}$; $\lambda = 197\text{nm}$, $V = 2.0\text{V}$; $\lambda = 169\text{nm}$, $V = 3.0\text{V}$; (a) Piirrä pinnasta irtoavien elektronien (maksimi) kineettinen energia fotonin taajuuden funktiona. Määritä kuvaajasta (b) alumiinin työfunktio ja (c) Planckin vakio.



Käännä!

Huom! Kaikki kaavat eivät ole yleispäteviä vaan soveltuvat vain erikoistapauksiin

Vakioita:

$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$, $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$, $1 \text{eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{J}$, $c = 3.00 \times 10^8 \text{m/s}$,
 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{Js}$, $4.136 \times 10^{-15} \text{eVs}$, $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \times 10^{-34} \text{Js}$, $R = 1.097 \times 10^7 \text{m}^{-1}$,
 $\mu_B = 5.788 \times 10^{-5} \text{eV/T}$, $a_0 = 5.29 \times 10^{-11} \text{m}$ (Bohrin säde), $k = 1.38065 \times 10^{-11} \text{J/K}$,
 $u = 1.660539 \times 10^{-27} \text{kg}$, $m_e = 0.000548580 \text{u} = 9.109 \times 10^{-31} \text{kg}$, $m_p = 1.007276 \text{u}$, $m_n = 1.008665 \text{u}$
 $1 \text{Ci} = 3.70 \times 10^{10} \text{Bq}$, $^{14}\text{C} : T_{1/2} = 5730 \text{a}$, $H_0 = 71 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}$, $1 \text{pc} = 3.2 \text{ly}$
 $c^2 = 931.5 \text{MeV/u}$, $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$

1. välilikkeen kaavoja:

$$x = x' + ut \quad | \quad y = y' \quad | \quad z = z' \quad | \quad t = t' \quad | \quad v = v' + u$$

$$x' = \gamma(x - ut) \quad | \quad y' = y \quad | \quad z' = z \quad | \quad t' = \gamma(t - ux/c^2) \quad | \quad v' = \frac{v - u}{1 - uv/c^2} \quad | \quad v = \frac{v' + u}{1 + uv'/c^2}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \quad | \quad \Delta t = \gamma \Delta t_0 \quad | \quad l = \frac{l_0}{\gamma}$$

$$\frac{f}{f_0} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \quad (\text{sinisiirtymä}), \quad | \quad \frac{f}{f_0} = \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \quad (\text{punasiirtymä})$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad | \quad \vec{p} = \gamma m \vec{v} \quad | \quad E = K + mc^2 \quad | \quad K = (\gamma - 1)mc^2$$

$$E = \gamma mc^2 \quad | \quad E = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2} \quad | \quad K = E - mc^2 \quad | \quad K \approx p^2/2m \quad \text{jos } v \ll c$$

$$U = qV \quad | \quad E = hf = h\frac{c}{\lambda} \quad | \quad E = pc \quad | \quad \lambda = h/p \quad | \quad p = h/\lambda$$

$$K_{\max} = hf - \phi = eV_0 \quad | \quad hf = E_f - E_i \quad | \quad hf = E_i - E_f \quad | \quad \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$E_n = -\frac{hcR}{n^2} = -\frac{13.60 \text{ eV}}{n^2} \quad | \quad L = n\frac{h}{2\pi} \quad | \quad r_n = \epsilon_0 \frac{n^2 h^2}{\pi m e^2} \quad | \quad v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 n \hbar}$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \phi) \quad | \quad I = \sigma T^4 \quad | \quad \lambda_m T = 2.90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad | \quad I(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

$$m\lambda = d \sin \theta \quad | \quad \Delta x \Delta p \geq \hbar/2 \quad | \quad \Delta E \Delta t \geq \hbar/2$$

$$\Psi(x, y, z, t) = \psi(x, y, z)e^{-iEt/\hbar} \quad | \quad -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi|^2 dx = 1 \quad | \quad E_n = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2} \quad | \quad \psi_n = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad | \quad E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega$$

$$T = Ge^{-2\kappa L}, \text{ missä } G = 16 \frac{E}{U_0} \left(1 - \frac{E}{U_0}\right) \text{ ja } \kappa = \frac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}, \text{ voimassa vain jos } T \ll 1$$

2. välilikkeen kaavoja:

$$E = -\frac{13.60 \text{ eV}}{n^2} \quad | \quad L = \sqrt{l(l+1)}\hbar \quad | \quad L_z = m_l \hbar \quad | \quad S = \sqrt{s(s+1)}\hbar \quad | \quad S_z = m_s \hbar$$

$$\mu_z = -m_l \frac{e\hbar}{2m_e} = -m_l \mu_B \quad | \quad \mu_z = -2.00232 m_s \frac{e\hbar}{2m_e} \quad | \quad U = -\mu_z B$$

$$P(r)dr = |\psi|^2 4\pi r^2 dr \quad | \quad E = -\frac{Z_{\text{eff}}^2}{n^2} 13.60 \text{ eV} \quad | \quad f = (2.48 \times 10^{15} \text{ Hz})(Z - 1)^2$$

$$E_l = l_r(l_r + 1) \frac{\hbar^2}{2I} \quad | \quad m_r = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad | \quad I = m_r r_0^2 \quad | \quad E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega \quad | \quad \omega = \sqrt{\frac{k'}{m_r}}$$

$$E = \frac{\hbar^2}{8mL^2}(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2) \quad | \quad g(E) = \frac{(2m)^{3/2} V}{2\pi^2 \hbar^3} E^{1/2} \quad | \quad f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/kT} + 1} \quad | \quad E_{F0} = \frac{(3\pi^2 n_e)^{2/3} \hbar^2}{2m}$$

$$E_F = \frac{1}{2} m v_F^2 \quad | \quad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m}{n_e e^2 \tau} \quad | \quad I = I_s (e^{eV/kT} - 1) \quad | \quad \text{Tasapainossa: } |i_{pg}| = |i_{pr}| \text{ ja } |i_{ng}| = |i_{nr}|$$

$$R = R_0 A^{1/3} \quad | \quad A = Z + N \quad | \quad E_B = (ZM_H + Nm_n - \frac{A}{2} M)c^2$$

$$E_B = (15.75 \text{ MeV})A - (17.80 \text{ MeV})A^{2/3} - (0.7100 \text{ MeV})\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - (23.69 \text{ MeV})\frac{(A-2Z)^2}{A} \pm (39 \text{ MeV})A^{-4/3}$$

$$Q = (M_P - M_D - 2m_e)c^2 \quad | \quad Q = (M_P - M_D)c^2 \quad | \quad Q = (M_P - M_D - M_{\frac{4}{3}\text{He}})c^2 \quad | \quad Q = (M_A + M_B - M_C - M_D)c^2$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad | \quad A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t) \quad | \quad T_{\text{mean}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

$$D = \frac{E_{\text{abs}}}{m} \quad | \quad H = RBE \times D \quad | \quad v = H_0 r \quad | \quad \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{R_0}{R}$$

$$E\lambda = hc$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$