TTY/ FYS-1101 Insinöörifysiikka II (Sami Paavilainen) syksy 2018

2. välikoe ja tentti 17.12.2018

- Ympyröidyt kysymykset (1-4) kuuluvat 2. välikokeeseen.
- Neliöidyt kysymykset (2-6) kuuluvat tenttiin.
- Kääntöpuolella kaavoja ja alhaalla vakioita.
- Kokeessa saa käyttää laskinta, mutta se ei saa olla ohjelmoitava.
- Muista antaa kaikupalautetta.

(1) Tietyn, tyhjiössä etenevän sähkömagneettisen tasoaallon sähkökentän lauseke on

$$\vec{E}(z,t) = (1.24 \cdot 10^3 \text{ V/m}) \cos(kz - \omega t)\hat{\imath},$$

missä $\omega = (1.38 \cdot 10^{13} \text{ rad/s})$.
a) Mihin suuntaan aalto liikkuu, jos k on positiivinen vakio? (1p)
b) Kirjoita vektorimuotoinen lauseke (lasketuilla numeroarvoilla) aallon magneettikentälle $\vec{B}(z,t)$. (3p)
c) Aalto absorboituu kokonaisuudessa pintaan, jonka pinta-ala on $2.2\,\text{m}^2$. Millä keskimääräisellä teholla pintaan siirtyy energiaa aallosta? (2p)

[2] Erittäin nopea keihäänheittäjä heittää keihäänsä vakionopeudella ladon läpi. Keihään lepopituus on 2.5 m.
a) Mikä pitää keihään nopeuden olla ladon suhteen levossa olevan farmarin mielestä, jotta keihäs mahtuisi hänen mielestään kokonaan ladon sisään? Ladon lepopituus on 1.5 m keihään etenemissuunnassa.
b) Keihään irrotessa heittäjän kädestä sen nopeus oli $0.600\,c$ heittäjän suhteen mitattuna. Millä vakionopeudella heittäjän piti juosta ladon suhteen, jotta heitetty keihäs mahtuu farmarin mielestä latoon a-kohdan tapaan? Ilmoita tulokset valonnopeuden c avulla

[3] Tarkastellaan elektronia kvanttipisteessä, jossa se käyttäytyy kuten hiukkanen potentiaalikaivossa. Kaivon syvyys on 9.0 eV. Elektronilla on neljä sidottua tilaa, joiden energiat ovat kaivon pohjan suhteen 1.0 eV, 2.1 eV, 3.6 eV ja 7.6 eV.
a) Mitä valon aallonpituuksia voi perustasolla oleva elektroni absorboida siirtyessään jollekin toiselle sidotulle tilalle? (4p)
b) Piirrä elektronille energiatasokaavio potentiaalikaivon sidotuista tiloista ja merkitse a-kohdan siirtymät kaavioon. (2p)

[4] a) Miksi puolijohteiden johtavuus paranee lämpötilan kasvaessa? Selitä paraneminen elektronitilojen vyökaavion ja elektronitilojen miehitystä kuvaavaan kaavakokoelman kaavan avulla. (3p)
b) Eri radioaktiivisissa prosesseissa ytimistä voi lähteä α-, β^--, β^+- tai γ-säteilyä. Kerro lyhyesti (alle 10 riviä yhteensä riittää varmasti), mistä kyseisissä prosesseissa on kyse. Pohdi myös ytimen järjestysluvun Z ja neutroniluvun N avulla, minkä tyyppisen emoytimen hajoamisessa syntyy kutakin säteilyn tyyppiä. (3p)

[5] Ilmaeristeisen tasolevykondensaattorin levyt ovat neliöitä (pinta-ala $208\,\text{cm}^2$) ja levyjen välinen etäisyys on 0.23 mm. Kondensaattori on varattu paristolla, jonka emf $\mathcal{E} = 2.5\,\text{V}$.
a) Kuinka suuri varaus kummallakin levyllä on?
b) Levyjen välinen tila täytetään kokonaan eristeellä, jonka eristevakio $K = 1.25$. Paristo pidetään kuitenkin koko ajan kytkettynä kondensaattoriin. Kuinka suuri on levyjen varaus ja levyjen välinen jännite?
c) Väliaine ei ole täydellinen eriste, vaan sen resistiivisyys $\rho = 7.5 \cdot 10^{10}\,\Omega\cdot\text{m}$. Kuinka suuri virta eristeen läpi kulkee?

[6] Äärettömän pitkän virtajohtimen poikkileikkaus on ympyrä, jonka säde on a. Johtimessa kulkee vakiovirta I, joka on tasan jakaantunut johtimen poikkipinnalle.
a) Piirrä virran synnyttämän magneettikentän suunta johtimen poikkileikkauskuvaan ja perustele suunta oikean käden säännön avulla. (2p)
b) Laske **Amperen lain** avulla magneettikentän suuruus etäisyydellä r johtimen keskiakselista. Tarkastele erikseen alueita, joissa $r \geq a$ ja $r \leq a$. Ilmoita tulos suureiden r, a ja I avulla. ja perustele laskun välivaiheet! (4p)

Vakioita:

$g = 9.80\,\text{m/s}^2$	$h = 6.626 \times 10^{-34}\,\text{Js}$	$m_e = 9.109 \times 10^{-31}\,\text{kg}$
$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\,\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$	$h = 4.136 \times 10^{-15}\,\text{eVs}$	$m_p = 1.007276\,\text{u}$
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\,\text{TmA}^{-1}$	$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \times 10^{-34}\,\text{Js}$	$m_n = 1.008665\,\text{u}$
$e = 1.602 \times 10^{-19}\,\text{C}$	$\mu_B = 5.788 \times 10^{-5}\,\text{eV/T}$	$\text{u}c^2 = 931.5\,\text{MeV}$
$c = 2.998 \times 10^8\,\text{m/s}$	$k = 1.38065 \times 10^{-23}\,\text{J/K}$	$1\,\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\,\text{J}$
	$\text{u} = 1.660539 \times 10^{-27}\,\text{kg}$	

Huom! Kaikki kaavat eivät ole yleispäteviä vaan soveltuvat vain erikoistapauksiin.

$\mathbf{A} \times \mathbf{B} = (A_yB_z - A_zB_y)\hat{\imath} + (A_zB_x - A_xB_z)\hat{\jmath} + (A_xB_y - A_yB_x)\hat{k}$

Pallo: $A = 4\pi r^2, \quad V = \frac{4}{3}\pi r^3$

$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}$

$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$ $\quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$

$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{dq}{r^2}\hat{r}$

$p = qd$ $\quad \vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$

$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$

$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{encl}}}{\varepsilon_0}$

$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r}$ $\quad V = \frac{U}{q_0}$

$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$ $\quad V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{dq}{r}$

$W_{a\to b} = q_0(V_a - V_b) = U_a - U_b$

$V_{ab} = V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$

$\vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{\imath} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{\jmath} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{k}\right)$

$C = \frac{Q}{V_{ab}}$ $\quad C = \varepsilon\frac{A}{d}$ $\quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

$U = \frac{Q^2}{2C}$ $\quad u = \frac{1}{2}\varepsilon E^2$

$C = KC_0$ $\quad \varepsilon = K\varepsilon_0$

$I = \frac{dQ}{dt}$ $\quad J = \frac{I}{A}$

$\vec{J} = nq\vec{v}_d$ $\quad \vec{E} = \rho\vec{J}$

$\rho(T) = \rho_o[1 + \alpha(T - T_0)]$

$R = \frac{\rho L}{A}$ $\quad \rho = \frac{m}{ne^2\tau}$

$V = IR$ $\quad P = V_{ab}I$

$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}}$ $\quad \sum V = 0$

$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$

$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B} + \vec{E})$

$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$

$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$ $\quad \vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$

$\vec{\mu} = NI\vec{A}$

$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}$

$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ $\quad B = \mu_0 nI$

$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0\vec{M}$ $\quad \vec{B} = K_m\vec{B}_0$

$\vec{M} = \frac{\vec{\mu}_{\text{total}}}{V}$

$\mathcal{E} = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$ $\quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0\left(i_c + \varepsilon\frac{d\Phi_E}{dt}\right)_{\text{encl}}$

$M = \frac{N_2\Phi_{B,2}}{i_1}$ $\quad \mathcal{E}_2 = -M\frac{di_1}{dt}$

$L = \frac{N\Phi_B}{i}$ $\quad \mathcal{E} = -L\frac{di}{dt}$

$U = \frac{1}{2}LI^2$ $\quad u = \frac{B^2}{2\mu_0}$

$i(t) = \frac{\mathcal{E}}{R}(1 - e^{-tR/L})$

$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ $\quad E = cB$

$\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial x^2} = \varepsilon_0\mu_0\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial t^2}$

$\vec{E}(x,t) = E_{\max}\,\hat{\jmath}\,\cos(kx - \omega t)$

$\vec{B}(x,t) = B_{\max}\,\hat{k}\,\cos(kx - \omega t)$

$f = \frac{c}{\lambda}$ $\quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$ $\quad \omega = 2\pi f$

$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B}$

$I = S_{\text{av}} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 c{E_{\max}}^2$

$x' = \gamma(x - ut)$ $\quad y' = y$

$z' = z$

$t' = \gamma(t - ux/c^2)$ $\quad \Delta t = \gamma\Delta t_0$

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

$v_x' = \frac{v_x - u}{1 - uv_x/c^2}$

$v_x = \frac{v_x' + u}{1 + uv_x'/c^2}$ $\quad \vec{p} = \gamma m\vec{v}$

$E = K + mc^2$ $\quad E = \gamma mc^2$

$E = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2}$

$E = hf$ $\quad E = pc$ $\quad hf - \phi = eV_0$

$\lambda = h/p$ $\quad p = h/\lambda$

$hf = E_f - E_i$ $\quad hf = E_i - E_f$

$m\lambda = d\sin\theta$

$\Delta x\Delta p \geq \hbar/2$ $\quad \Delta E\Delta t \geq \hbar/2$

$P = \int_{x1}^{x_2}|\psi|^2 dx$ $\quad \int_{-\infty}^{\infty}|\psi|^2 dx = 1$

$E_n = \frac{n^2h^2}{8mL^2}$ $\quad \psi_n = \sqrt{\frac{2}{L}}\sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$

$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x)$

$E = -\frac{13.60\text{ eV}}{n^2}$ $\quad L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$

$L_z = m_l\hbar$ $\quad S_z = m_s\hbar$

$U = -\mu_z B = m_l\mu_B B$

$f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_F)/kT} + 1}$

$I = I_s(e^{eV_b/kT} - 1)$

$E_B = (ZM_{\text{H}} + Nm_{\text{n}} - {}^A_ZM)c^2$

β^+: $Q = (M_P - M_D - 2m_e)c^2$

β^-, EC: $Q = (M_P - M_D)c^2$

$Q = (M_P - M_D - M_{^4_2\text{He}})c^2$

$Q = (M_A + M_B - M_C - M_D)c^2$

$N(t) = N_0e^{-\lambda t}$ $\quad T_{\text{mean}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$

$A(t) = \left|\frac{dN(t)}{dt}\right| = \lambda N(t)$

$D = \frac{E_{\text{abs}}}{m}$ $\quad H = \text{RBE} \times D$