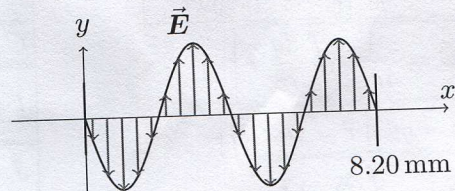


2. välikoe ja tentti 11.12.2015

- Ympyröidyt kysymykset (1, 2, 3, 4, 5) kuuluvat 2. välikokeeseen.
- Neliöidyt kysymykset (3, 4, 5, 6 ja 7) kuuluvat tenttiin.
- Välikokeessa saa käyttää laskinta, mutta se ei saa olla ohjelmoitava.
- Kääntöpuolella kaavoja ja alhaalla vakioita.
- Muista antaa kaikkupalautetta arvosanan saamiseksi!

- ① Viereinen kuva esittää tyhjiössä seisovan sähkömagneettisen aallon sähkökentän paikan funktiona tietyssä ajanhetkenä. Aalto on rajoitettu yhteen ulottuvuuteen välille $0 \rightarrow 8.20$ mm peilien avulla.



a) Laske aallon aallonpituus ja taajuus.

b) Millä kohdin aallon sähkökentällä on nööri?

c) Oikean laidan peili kohdalla 8.20 mm poistetaan hetkeksi, jolloin aalto pääsee etenemään $+x$ -suuntaan. Etenevän aallon magneettikentän amplitudi on $4.0 \mu\text{T}$. Kirjoita etenevän aallon sähkökentälle vektori-muotoinen, ajasta ja paikasta riippuva lauseke.

- ② Lineaarisessa hiukkaskiihdyttimessä kaksi protonia kulkee vastakkaisiin suuntiin. Laboratorion suhteen kiihdyttimen pituus on 3.2 km ja molempien hiukkasten vauhti $0.990c$.

a) Kuinka pitkä kiihdytin on hiukkasten koordinaatistossa?

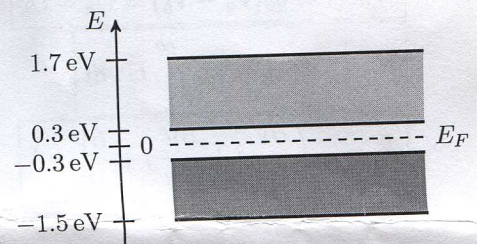
b) Mikä on kummankin hiukkasen relativistinen kokonaisenergia laboratoriikoordinaatistossa?

c) Mikä on hiukkasten vauhti toistensa suhteen?

- ③ Oheisessa kuvassa on vyökaavio, jossa on kuvattuna erään materiaalin valenssi- ja johtavuusvyöt. Väiden ala- ja yläreunat ovat energioilla -1.5 eV, -0.3 eV, 0.3 eV ja 1.7 eV, kun energian nollataso on valittu Fermi-energialle.

a) Mikä on maksimiaalipituus fotonille, jonka materiaali voi absorboida?

b) Miksi materiaalin johtavuus paranee, kun sitä valaistetaan keltaisella valolla ($\lambda = 580$ nm)?



- ④ Tutkit valosähköistä ilmiötä natrium-pinnan avulla. Natriumin työfunktio on 2.7 eV.

a) Mikä on valon kynnystaajuus elektronien irrottamisessa?

b) Mikä on elektronien maksimivauhti niiden irrotaessa pinnasta, kun käytät tutkimuksessa valoa, jonka aallonpituus on 380 nm?

- ⑤ Selitä lyhyesti (10 riviä riittää varmasti):

a) Monielektronisen atomin elektronien kvanttitiloja voidaan kuvata kvanttiluvuilla n , l , m_l ja m_s . Miten luvut määräytyvät ja miten elektronit miehittävät kvanttitilat? (4p)

b) Eri radioaktiivisissa prosesseissa ytimistä voi lähteä α -, β^- -, β^+ - tai γ -säteilyä. Pohdi ytimen järjestyksluvun Z ja neutroniluvun N avulla, minkätyyppisen emoytimen hajoamisessa syntyy kutakin säteilyn tyyppiä. (2p)

- ⑥ Kelojen A ja B välinen keskinäisinduktanssi $6.2 \cdot 10^{-4}$ H. Kelan A virta kasvaa tasaisella nopeudella 180 A/s.

a) Minkä suuruinen emf indusoituu toiseen kelaan B?

b) Kelan B pinta-ala on 10 cm^2 ja kierrosten lukumäärä 530. Kelan taso on kohtisuorassa kelan A tuottaman magneettikentän suuntaa vastaan. Laske magneettikentän muutosnopeus (yksiköissä T/s) kelan B sisällä olettaen, että kenttä on siellä tasainen.

- ⑦ Eristepallo, jonka säde on 10.0 cm, varataan tasaisesti $-3.0 \mu\text{C}$ varauksella.

a) Laske varauksen aiheuttama sähkökenttä pallon sisäpuolella 8.0 cm etäisyydellä pallon keskipisteestä Gaussin lain avulla.

b) Laske 8.0 cm etäisyydellä pallon keskipisteestä olevaan elektroniin kohdistuva sähköinen voima. Mihin suuntaan voima osoittaa?

Vakioita:

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ TmA}^{-1}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$h = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eVs}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.055 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\mu_B = 5.788 \times 10^{-5} \text{ eV/T}$$

$$k = 1.38065 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$u = 1.660539 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1.007276 \text{ u}$$

$$m_n = 1.008665 \text{ u}$$

$$uc^2 = 931.5 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

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

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y) \hat{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \hat{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \hat{k} \quad \text{Pallo: } A = 4\pi r^2, \quad V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

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

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

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{encl}}}{\epsilon_0}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r} \quad V = \frac{U}{q_0}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r}$$

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

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

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

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

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

$$C = KC_0 \quad \epsilon = K\epsilon_0$$

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

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

$$\rho(T) = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\vec{\mu} = NI\vec{A} \quad nq = \frac{-J_x B_y}{E_z}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad E = cB$$

$$\frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial x^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_y(x,t)}{\partial t^2}$$

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

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

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

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

$$I = S_{\text{av}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_{\text{max}}^2$$

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

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

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

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

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

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

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

$$E_x = E'_x \quad E_y = \gamma(E'_y + uB'_z)$$

$$E_z = \gamma(E'_z - uB'_y) \quad B_x = B'_x$$

$$B_y = \gamma(B'_y - u/c^2 \cdot E'_z)$$

$$B_z = \gamma(B'_z + u/c^2 \cdot E'_y)$$

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

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

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

$$E_n = -\frac{13.60 \text{ eV}}{n^2}$$

$$m\lambda = d \sin \theta$$

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

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

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

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

$$E_B = (ZM_H + Nm_n - \frac{A}{Z}M)c^2$$

$$\beta^+: \quad Q = (M_P - M_D - 2m_e)c^2$$

$$\beta^-, \text{ EC: } Q = (M_P - M_D)c^2$$

$$Q = (M_P - M_D - M_{\frac{1}{2}\text{He}})c^2$$

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

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

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

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

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x) \quad \int_{-\infty}^{\infty} |\psi|^2 dx = 1$$