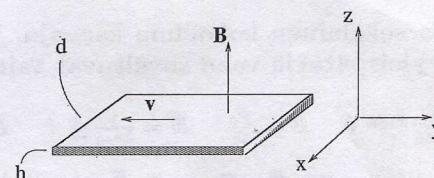


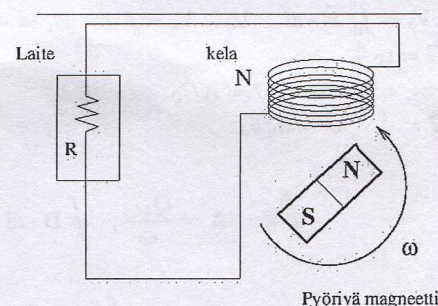
1. (a) Millaisen potentiaalieron yli on kiihdytettävä protoni ($q = +e$, $m = m_p$), jotta se saisi nopeuden 1000 km/s ? (3p) (b) Kahta protonia törmäytetään antamalla molemmille vauhti 1000 km/s (ulkopuolisen havaittajan mittaamana), ja ne kulkevat suoraviivaista rataa täsmälleen kohti toisiaan. Kuinka lähelle ne pääsevät toisiaan, jos niiden välillä vaikuttaa vain sähköstaattinen (Coulombin) voima? (3p)

2. **Hall-ilmiö.** Johtavassa pitkässä ohuessa liuskassa (paksuus h ja leveys d) kulkee negatiivisesti varattujen (tiheys n ja $q = -e$) elektronien kuljettama sähkövirta.

- (a) Elektronit kulkevat liuskassa negatiiviseen y -suuntaan, mikä on tällöin virran kulkusuunta? (1p) (b) Liuskan läpäisee magneettikenttä positiiviseen z -suuntaan. Mihin suuntaan osoittaa magneettikentän elektroneihin kohdistama voima? (1p) (c) Magneettisen voiman ansiosta liuskan toiselle reunalle syntyy elektronien ylimäärä ja toiselle vaje, mikä synnyttää liuskan poikki sähkökentän. Tasapainossa sähkö- ja magneettikentän voimat kumoavat toisensa. Minkä suuntainen on sähkökenttä? Mikä on sen voimakkuus elektronien nopeuden ja magneettikentän voimakkuuden avulla lausuttuna? (2p) (d) Olkoon liuskan paksuus on 1.0 mm , leveys 1.50 cm , siinä kulkeva virta 25.0 A ja läpäisevä magneettikenttä 0.40 T . Jos virtaa kuljettavien elektronien tiheys on $n = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$, mikä on liuskan reunasta toiseen x -suunnassa mitattu jännite? (2p)



Tehtävä 2.



Tehtävä 3.

3. Oheisessa kuvassa on paikallaan oleva kela (N kierrosta, poikkipinta-ala A) ja vieressä kulmanopeudella ω pyörivä kestopagneetti. Voit olettaa, että magneetin aiheuttama kelan läpi kulkeva kohtisuora kenttä noudattaa lauseketta $B_{\perp} = B_m \cos(\omega t)$. (a) Piirrä kuvaaja kelan läpi kulkevasta magneettikentän vuosta ajan funktiona ajalta, jona magneetti pyörähtää kaksi kertaa akselinsa ympäri. (1p) (b) Johda lauseke magneettikentän vuon muutosnopeudelle ja kelaan indusoituvalle lähdejännitteelle. (2p) (c) Jos kelassa on 500 kierrosta, sen poikkipinta-ala on 100.0 cm^2 , ja magneettikentän maksimi $B_m = 0.1 \text{ T}$, mikä on magneetin pyöryhdysajan oltava, jotta kelaan indusoituva maksimijännite on 4 V ? Jos piirissä on laite, jonka resistanssi on 10Ω , mikä on piirissä kulkeva maksimivirta? (2p)

4. (a) Tarkastele metallipalloa, jonka säde on $R = 2.00 \text{ mm}$. Jos pallossa on sähkövaraus q , varaus tuottaa sähkökentän, jonka suunta on säteittäisesti pois päin pallosta. Gaussin lain avulla osoita pallon pinnalla olevan sähkökentän ja pallon säteen riippuvan toisistaan seuraavasti:

$$q = 4\pi\epsilon_0 R^2 E.$$

Huom! Perustele välivaiheet. (3p)

(b) Jos pallon pinnalla kentän voimakkuus saavuttaa läpilyöntikentän $E_m = 3.0 \text{ MV/m}$, kuinka suuri on pallossa oleva varaus? (1p) (c) Jos tämä varaus on varastoitu kondensaattoriin, jonka kapasitanssi on 10.0 pF , mikä on jännite kondensaattorissa? Mikä on kondensaattoriin varastoitunut energia? (2p)

5. Auringosta lähteneessä purkauksessa maan magneettikenttään tulee elektroneja ja protoneja. Oleta niille nopeus 400 km/s . Saapuessaan maan magnetosfääriin ne kokevat magneettikentän, jonka voimakkuus on 5 nT . Hiukkaset alkavat kiertää ruuviviivaa maan magneettikentässä. (a) Lähtien keskiahakukiihtyvyyden lausekkeesta ja varatun hiukkasen magneettikentässä kokemasta voimasta osoita, että ympyräliike tapahtuu kulmataajuudella

$$\omega = \frac{qB}{m}. \quad (3p)$$

(b) Määritä elektronien kulmataajuus ja niiden kiertämien ratojen säde. Tulisiko protonille sama tulos? Miksi tai miksi ei? (2p) (c) Kun hiukkaset tulevat napa-alueilla syvemmälle maan ilmakehään, on kenttä luokkaa 0.01 mT . Mikä on hiukkasten ratojen säde tuolloin? (1p)

Käännä.

Ohessa vakioita ja kaavoja

Vakioita:

$g = 9.80 \text{ m/s}^2$, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ ja $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$.
 $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$, $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$, elektronin massa $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, protonin massa $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Matemaattisia kaavoja: $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$,

Pallon pinta-ala $A = 4\pi r^2$, pallon tilavuus $4\pi r^3/3$.

Ympyrän kehän pituus $l = 2\pi r$ ja ympyrän pinta-ala $A = \pi r^2$.

Ohessa sekalainen kokoelma kaavoja, joista voi olla hyötyä. Huomaa, että kaikki kaavat eivät ole yleispäteviä vaan soveltuvat vain erikoistapauksiin

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

$$p = qd \quad \vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad U = -\vec{p} \cdot \vec{E} \quad U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r} \quad V = \frac{U}{q_0} \quad V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r}$$

$$V_a - V_b = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad V_a - V_b = Ed \quad E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} \quad E_r = -\frac{\partial V}{\partial r}$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad C = KC_0 \quad \epsilon = K\epsilon_0$$

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad J = \frac{I}{A} \quad \vec{J} = nq\vec{v}_d$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}, \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc}, \quad \mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}, \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0, \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(I_{enc} + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right), \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{tai } \mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt})$$

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

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad R = \frac{\rho L}{A} \quad V = IR \quad P = V_{ab} I \quad \tau = RC$$

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \quad d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \quad \omega_c = \frac{v}{R} = \frac{|q|B}{m}$$

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad \vec{\mu} = NI\vec{A} \quad \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

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

$$\mathcal{E} = -L \frac{di}{dt} \quad U = \frac{1}{2} Li^2 \quad u_B = \frac{B^2}{2\mu}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \mu = K_m \mu_0$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad x = x_0 + \int_0^t v dt, \quad v = v_0 + \int_0^t a dt, \quad x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2, \quad v = v_0 + at, \quad a_{rad} = \frac{v^2}{R}, \quad v = \frac{2\pi R}{T},$$

$$v = \omega R, \quad \vec{p} = m\vec{v}, \quad \vec{J} = \Delta \vec{p}, \quad \sum \vec{F} = m\vec{a}, \quad \sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad \vec{F}_{ab} = -\vec{F}_{ba}, \quad K = \frac{1}{2} mv^2, \quad W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{s}, \quad W = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{l} = -\Delta U,$$

$$W_{tot} = \Delta K, \quad J = F_{ave} \Delta t, \quad \vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt, \quad K = \frac{1}{2} I \omega^2, \quad \vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}, \quad \vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}, \quad L = I\omega, \quad \sum \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}.$$