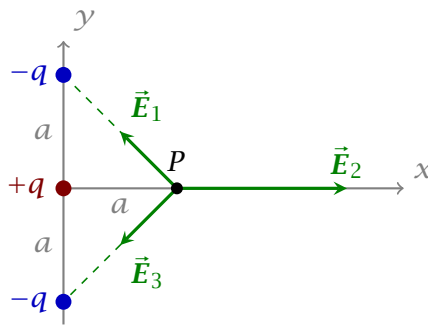


1. (a) Sähkökenttä on testivaruksen kokema sähköinen voima jaettuna testivaruksen suuruudella. (Tai toisin päin: Varauksen kokema sähköinen voima on muiden varauksen tuottama ulkoinen sähkökenttä kertaa varaus.)
 - (b) Nettovaraus kerääntyy aina johteen pinnalle (Gaussin lain perusteella). Symmetrian takia pintavarauksen jakautuu tasaisesti johdepallon pinnalle.
 - (c) Sähköpotentiaali on potentiaalienergia per varausyksikkö, eli staattisessa sähkökentässä olevan testivaruksen sähköiseen voimaan liittyvä potentiaalienergia jaettuna testivaruksella.
 - (d) Paristo on sähkömotorisen voiman lähde, jossa on myös *sisäinen resistanssi*. Irrallisen pariston napajännite on sama kuin sen smv. Kun paristo syöttää virtaa ulkopuoliseen piiriin, napajännite pienenee sisäisen resistanssin ja virran tulon verran. (Tai lyhyemmin: Pariston napajännite putoaa sisäisen resistanssin takia.)
 - (e) Ei. Magneettinen voima on kohtisuorassa elektronin nopeusvektoria vastaan, joten se voi kääntää elektronin liikerataa muttei kiihdyttää tai jarruttaa elektronin vauhtia.
 - (f) Sähkövirta synnyttää magneettikentän jonka kenttäviivat kiertävät virtajohdinta. Oikean käden muut sormet osoittavat magneettikentän kiertosuuntaan kun peukalo osoittaa virran suuntaan.
2. (a) Sähköpotentiaali pisteessä P saadaan summaamalla kolmen pistevarauksen potentiaaleja:

$$V = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0(a\sqrt{2})} + \frac{+q}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{-q}{4\pi\epsilon_0(a\sqrt{2})} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} \underbrace{(1 - \sqrt{2})}_{\approx -0.414}$$

- (b) Sähkökenttä pisteessä P saadaan kolmen pistevarauksen kenttien vektorisummana:



$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \\ &= \frac{-\hat{i} + \hat{j}}{\sqrt{2}} \frac{q}{4\pi\epsilon_0(a\sqrt{2})^2} + \hat{i} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{-\hat{i} - \hat{j}}{\sqrt{2}} \frac{q}{4\pi\epsilon_0(a\sqrt{2})^2} \\ &= \hat{i} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2} \underbrace{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)}_{\approx 0.293} \end{aligned}$$

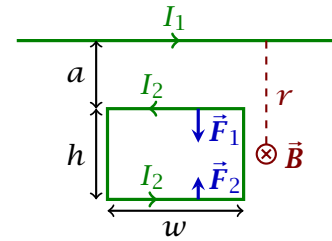
- (c) Ulkoisen voiman tekemä työ on

$$W = q_0 V = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 a} (1 - \sqrt{2}).$$

3. (a) Suoran virtalangan I_1 synnyttämä magneettikenttä on (lävistyslain mukaan)

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r},$$

missä r on etäisyys virtalangasta ja magneettikentän suunta on virtasilman alueella (ja kaikkialla paperin tasossa virtalangan alapuolella) paperin sisään.



- (b) Virtasilmuksaan vaikuttava voima saadaan laskemalla integraali

$$\vec{F} = \oint I_2 d\vec{\ell} \times \vec{B},$$

missä $d\vec{\ell}$ on $d\ell$ -mittainen osa virtasilmuksista joka osoittaa virran I_2 kulkusuuntaan ja \vec{B} on (a)-kohdassa laskettu magneettikenttä. Jaetaan silmukka neljään suoraan virtalanganpätkään. Vaakasuuntaisissa osissa voimien suunnat ovat kuten kuvassa ja magneettikenttä on vakio, joten integraalista tulee yksinkertaisesti $\vec{F} = I_2 \vec{\ell} \times \vec{B}$, missä $|\vec{\ell}| = \ell$ on langan pituus w , ja voimien suuruudet ovat

$$F_1 = I_2 w \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}, \quad F_2 = I_2 w \frac{\mu_0 I_1}{2\pi(a+h)}.$$

Pystysuorissa osissa $d\vec{\ell} \times \vec{B}$ osoittaa silmukassa sisäänpäin (ei merkitty kuvaan) ja voimat ovat yhtäsuuria, joten niistä ei synny nettovoimaa. Voima $F_1 > F_2$, joten nettovoima

$$F = F_1 - F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 w}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+h} \right) = \frac{\mu_0 I_1 I_2 w h}{2\pi a(a+h)}$$

osoittaa kuvassa alaspäin eli virtalangan ja silmukan välillä on hylkimisvoima.

- (c) Kaikki silmuksaan vaikuttavat voimat ovat silmukan tasossa, joten vääntömomentti on nolla.