

KERTAUSTEHTÄVIEN RATKAISUT

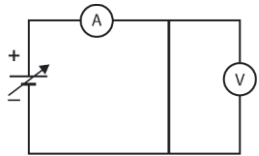
1.
 - a) Koska kytkin on auki, jännitemittarin lukema on 0 V. Virtapiirissä on paristo, vastus ja virtamittari samanlaisessa kytkennässä kuin alkuperäinen kytkentä 1. Virtamittarin lukema on 100 mA.
 - b) Koska kytkin on auki, sähkövirta ei kulje vasemmanpuoleisen vastuksen läpi. Virtapiiri on sama kuin alkuperäinen, joten jännitemittarin lukema on 1,5 V ja Virtamittarin 100 mA.
 - c) Kahden samanlaisen rinnankytketyn vastuksen yhdistelmän kokonaisresistanssi on puolet alkuperäisestä, joten virtamittarin läpi kulkeva sähkövirta on 200 mA. (Vastusten läpi kulkevat virrat ovat molemmat 100 mA virran haarautumisen vuoksi). Jännitemittarin lukema on 1,5 V.
 - d) Paristojen rinnankytkentä ei (juurikaan) muuta napajännitettä, joten jännitemittarin lukema on 1,5 V. Vastuksen ja virtamittarin läpi kulkeva sähkövirta on 100 mA.
 - e) Sarjaan kytkettyjen paristojen napajännite on kaksinkertainen, joten jännitemittarin lukema on 3,0 V. Virtamittarin läpi kulkeva sähkövirtakin on kaksinkertainen eli 200 mA.
2.
 - b) Vastuksen resistanssi on $R = \frac{U}{I} = \frac{4,5\text{ V}}{0,084\text{ A}} \approx 53,5714\Omega$. Vastuksen läpi kulkevan sähkövirran suuruus uudessa tapauksessa on
$$I = \frac{U}{R} = \frac{12\text{ V}}{53,5714\Omega} \approx 220\text{ mA}.$$
3.
 - b) Koska vastukset on kytketty rinnan, kummankin jännite on 6,2 V. Näin ollen vastuksen 1 läpi kulkeva sähkövirta on

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6,2 \text{ V}}{220 \Omega} \approx 28 \text{ mA}.$$

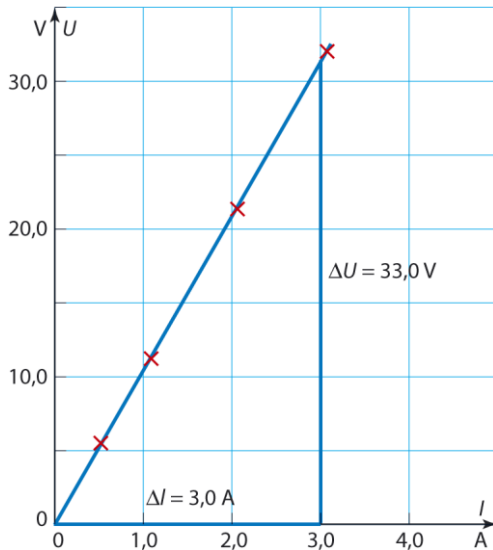
4. a) Johtimen resistanssi on $R = \frac{U}{I} = \frac{3,0 \text{ V}}{0,13 \cdot 10^{-3} \text{ A}} \approx 23,077 \text{ k}\Omega$.

Sähkövirta on $I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{23,077 \text{ k}\Omega} \approx 0,52 \text{ mA}$.

b) Mittaukseen soveltuva kytkentäkaavio:



Siirretään mittaustulokset I, U -koordinaatistoon. Sovitetaan pistejoukkoon suora.



Suoran fysikaalinen kulmakerroin on johtimen resistanssi:

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{33,0 \text{ V}}{3,0 \text{ A}} = 11 \Omega.$$

5. a) Kun jännitehäviö on $U = 1,5 \text{ V}$, sähkövirta on $I = 1,0 \text{ A}$. Polttimon resistanssi on

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1,5 \text{ V}}{1,0 \text{ A}} = 1,5 \ \Omega.$$

- b) Kun sähkövirta on $I = 1,7 \text{ A}$, jännitehäviö on $U = 3,5 \text{ V}$. Polttimon resistanssi on

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,5 \text{ V}}{1,7 \text{ A}} \approx 2,1 \ \Omega.$$

- c) Polttimon resistanssi muuttuu, koska resistanssi kasvaa lämpötilan kasvaessa.

- d) Koska kuvaaja ei ole lineaarinen, Ohmin laki ei ole voimassa.

6. a) NTC-vastuksen lämpötilariippuvuutta kuvaa video B.

- b) PTC-vastusta voidaan käyttää esimerkiksi sähkölaitteen ylikuormitusuojana. Kun vastuksen läpi kulkeva sähkövirta alkaa kasvaa liian suureksi, vastus kuumenee ja sen resistanssi kasvaa jyrkästi ja rajoittaa näin sähkövirran kasvua.

NTC-vastusta voidaan käyttää esimerkiksi sähkölaitteen alkukäynnistysvirran rajoittamiseen. Alkulämpötilassa NTC-vastus johtaa huonosti sähköä. Kun NTC-vastus lämpenee sähkövirran vaikutuksesta, se alkaa johtaa sähkövirtaa paremmin ja päästää laitteen sähkövirran vähitellen kasvamaan.

7. a) Alumiinilangan resistanssi on

$$R = \rho \frac{l}{A} = 2,655 \cdot 10^{-8} \ \Omega \text{m} \cdot \frac{230 \text{ m}}{0,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \approx 0,14 \ \Omega.$$

- b) Koska kummankin langan resistanssit ovat yhtä suuret ja langat yhtä pitkät, yhtälöstä $R_{\text{Fe}} = R_{\text{Al}}$ saadaan ehto $\rho_{\text{Fe}} \frac{l}{A_{\text{Fe}}} = \rho_{\text{Al}} \frac{l}{A_{\text{Al}}}$.

Rautalangan poikkipinta-ala on

$$A_{\text{Fe}} = \frac{A_{\text{Al}} \rho_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{Al}}} = \frac{5,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot 9,71 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}}{2,655 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}} \approx 18 \text{ mm}^2.$$

8. a) Koska vastukset ovat sarjassa, vastusyhdistelmän kokonaisresistanssi on $R = R_1 + R_2 + R_3$. Piirissä kulkeva sähkövirta on

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12 \text{ V}}{15,0 \Omega + 30,0 \Omega + 45 \Omega} = \frac{12 \text{ V}}{90 \Omega} = 0,13333 \text{ A} \approx 0,13 \text{ A}.$$

b) Vastuksien jännitehäviöt ovat

$$U_1 = R_1 I = 15,0 \Omega \cdot 0,13333 \text{ A} = 1,9999 \text{ V} \approx 2,0 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 I = 30,0 \Omega \cdot 0,13333 \text{ A} = 3,9999 \text{ V} \approx 4,0 \text{ V}$$

$$U_3 = R_3 I = 45,0 \Omega \cdot 0,13333 \text{ A} = 5,9999 \text{ V} \approx 6,0 \text{ V}.$$

c) Jännitehäviöiden summa on

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 1,9999 \text{ V} + 3,9999 \text{ V} + 5,9999 \text{ V} \approx 12 \text{ V}.$$

9. a) Säättövastus ja 200Ω vastus on kytketty rinnan, joten niiden yhteisresistanssi saadaan yhtälöstä

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{1}{200 \Omega} + \frac{1}{200 \Omega} = \frac{2}{200 \Omega}.$$

$$\text{Resistanssi on } R_1 = \frac{200 \Omega}{2} = 100 \Omega.$$

Tämä systeemi on kytketty sarjaan toisen 200Ω vastuksen kanssa.

Yhdistelmän kokonaisresistanssi on

$$R_{\text{kok}} = R_1 + R = R_1 + 200 \Omega = 100 \Omega + 200 \Omega = 300 \Omega.$$

b) Kun systeemin resistanssin tulee olla 380Ω , säättövastuksen resistanssi voidaan laskea yhtälöstä

$$\left(\frac{1}{200 \Omega} + \frac{1}{R} \right)^{-1} + 200 \Omega = 380 \Omega.$$

(Voit käyttää ratkaisuun symbolista laskinta)

Ratkaistaan tästä resistanssi R .

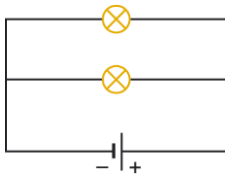
$$\left(\frac{1}{200 \Omega} + \frac{1}{R} \right)^{-1} = 180 \Omega$$

$$\frac{1}{200 \Omega} + \frac{1}{R} = \frac{1}{180 \Omega}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{180 \Omega} - \frac{1}{200 \Omega}$$

Säätövastuksen resistanssin tulee olla $R \approx 1800 \Omega$.

10. Kytkenäkaavio:



b) Koska lamput ovat rinnankytketyt, kummankin lampun napajännite on 1,5 V. Kummankin lampun läpi kulkee yhtä suuri sähkövirta:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1,5 \text{ V}}{15 \Omega} = 0,10 \text{ A}.$$

TAI

Koska lamput ovat rinnankytketyt, lamppuyhdistelmän kokonaisresistanssi saadaan yhtälöstä

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{15 \Omega} + \frac{1}{15 \Omega} = \frac{2}{15 \Omega}, \text{ josta } R = \frac{15 \Omega}{2} = 7,5 \Omega.$$

Piirin kokonaisvirta on $I = \frac{U}{R} = \frac{1,5 \text{ V}}{7,5 \Omega} = 0,20 \text{ A}$. Virta jakautuu Kirchhoffin I lain mukaan, ja koska kummankin lampun resistanssi on sama, kummankin lampun läpi kulkee $0,10 \text{ A}$:n virta.

11. a) Sähkölaitteita, joiden toiminnassa hyödynnetään sähkövirran lämpövaikutusta, ovat mm. sähkökiuas, vedenkeitin, uuni ja leivänpaahdin. Kodeissa ovat yleistyneet myös terassien ja parvekkeiden lämmittimet.

b) Energiaa muuntuu teholla $P = RI^2 = 250 \Omega \cdot (3,0 \text{ A})^2 \approx 2,3 \text{ kW}$.

c) Vastuksen sähköteho on $P = RI^2$ ja lämmityksen energia $E = Pt = RI^2t$. Veden vastaanottama energia on $Q = cm\Delta T$. Koska energiahäviöt ovat pienet, yhtälöstä $RI^2t = cm\Delta T$ saadaan veden massaksi

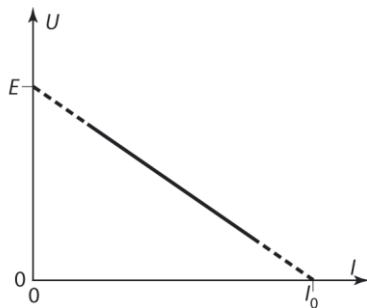
$$m = \frac{RI^2t}{c\Delta T} = \frac{150 \Omega \cdot (3,5 \text{ A})^2 \cdot 7,5 \cdot 60 \text{ s}}{4,19 \text{ kJ}/(\text{kgK}) \cdot 50 \text{ K}} \approx 3,9 \text{ kg}.$$

12. a) Aurinkokennon pinta-alan tulisi olla $\frac{1000 \text{ MW}}{150 \text{ W}/\text{m}^2} \approx 6,7 \text{ km}^2$.

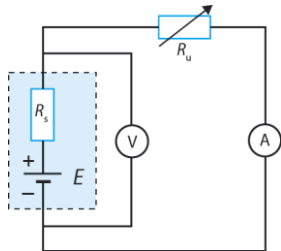
b) Aurinkokennon luovuttama energia on $E = \eta Pt$ ja veden vastaanottama $Q = cm\Delta T$. Yhtälöstä $\eta Pt = cm\Delta T$ saadaan veden lämmitysajaksi

$$t = \frac{cm\Delta T}{\eta P} = \frac{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 2,0 \text{ kg} \cdot 35 \text{ K}}{0,90 \cdot 150 \text{ W}} = 2172,59 \text{ s} \approx 36 \text{ min}.$$

13. a) Pariston kuormituskäyrällä tarkoitetaan I, U -kuvaajaa, jossa I on pariston läpi kulkeva sähkövirta ja U pariston napajännite. Pariston napajännite muuttuu, kun sitä kuormitetaan.



b) Paristoon kytketään säätövastus R_u . Lisäksi tarvitaan jännite- ja virtamittarit. Jännitemittari kytketään pariston napoihin. Virtamittari kytketään vastuksen kanssa sarjaan, jolloin se mittaa piirissä kulkevaa sähkövirtaa. Tämä sähkövirta on myös pariston läpi kulkeva sähkövirta.



c) I, U -kuvaajalta eli kuormituskäyrältä voidaan lukea pariston lähdejännite ekstrapoloimalla kuvaajaa kohtaan $I = 0$ A. Piirretyn suoran ja I -akselin leikkauskohdasta voidaan lukea oikosulkuvirran I_0 suuruus.

d) Kirchhoffin II lain mukaan saadaan yhtälö $\Sigma \Delta V = 0$ eli

$E - R_s I - R_u I = 0$, josta sähkövirta on

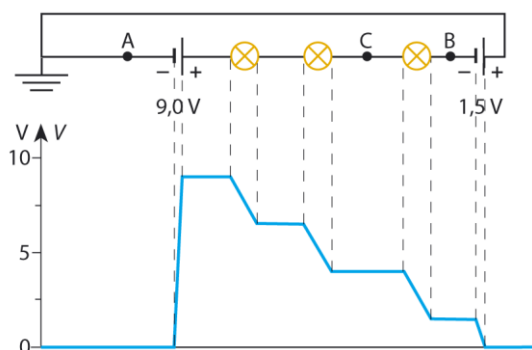
$$I = \frac{E}{R_s + R_u} = \frac{4,5 \text{ V}}{0,23 \Omega + 150 \Omega} \approx 30 \text{ mA}.$$

14. a) Yhtälöstä $U = E - R_s I$ pariston sisäiseksi resistanssiksi saadaan

$$R_s = \frac{E - U}{I} = \frac{4,5 \text{ V} - 3,8 \text{ V}}{31 \cdot 10^{-3} \text{ A}} \approx 23 \Omega.$$

15. a) Kierretään virtapiiri vastapäivään alkaen pisteestä A. Piirissä on kaksi paristoa sarjassa. Koska paristojen samanmerkkiset navat on yhdistetty, paristojen jännitteiden summa on $9,0 \text{ V} + (-1,5 \text{ V}) = 7,5 \text{ V}$. Kolmessa piirissä olevassa samanlaisessa lampussa tapahtuu yhteensä $7,5 \text{ V}$ jännitehäviö, joten yhdessä lampussa tapahtuvan jännitehäviön suuruus on $\frac{7,5 \text{ V}}{3} = 2,5 \text{ V}$.

Virtapiirin potentiaalikäyrä:



- b) Pisteiden B ja C potentiaalit saadaan potentiaalikäyrältä ja ne ovat

$$V_B = 1,5 \text{ V ja } V_C = 4,0 \text{ V.}$$

Pisteiden B ja C välinen jännite on

$$U_{BC} = V_B - V_C = 1,5 \text{ V} - 4,0 \text{ V} = -2,5 \text{ V.}$$

- c) Pisteiden C ja A välinen jännite $U_{CA} = V_C - V_A = 4,0 \text{ V} - 0,0 \text{ V} = 4,0 \text{ V}$.

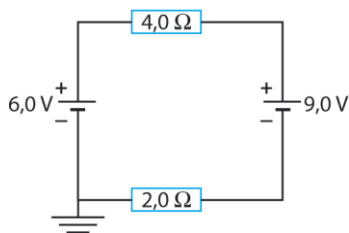
- d) Maadoituksella sovitaan potentiaalın nollakohta. Jos maadoitusta ei tehdä, potentiaalikäyrä on samanmuotoinen, mutta siinä ei voida ilmoittaa todellisia potentiaalilukemia, vaan ainoastaan potentiaalieroja.

16. Sovitaan kuvaajan alkupiste maadoitetuksi. Tutkitaan virtapiiriä paikka-akselin suunnassa.

Potentiaalin kuvaajan mukaan ensin tapahtuu 6,0 voltin potentiaalin kasvu, jonka aiheuttaa 6,0 voltin paristo. Kuvaajan mukaan virtapiirissä on myös 9,0 voltin paristo. Tästä johtuen sähkövirta virtapiirissä kulkee kohti 6,0 voltin paristoa, joka latautuu. Koska tarkastelusuunta on sähkövirran kulkusuuntaan nähden vastakkainen, 6,0 voltin jälkeen virtapiirissä on oltava vastus, jossa tapahtuu 2,0 voltin potentiaalin kasvu. Vastuksen jälkeen on 9,0 voltin paristo, jonka plusnapa on em. vastuksen kautta kytketty 6,0 voltin pariston plusnapaan. Pariston jälkeen virtapiirissä on vastus, jossa potentiaali kasvaa 1,0 voltia.

Koska virtapiiri on haarautumaton, ja vastuksissa tapahtuu 2,0 voltin ja 1,0 voltin potentiaalin kasvu, toinen vastus on resistanssiltaan kaksinkertainen toiseen verrattuna. Eli toinen vastus on esimerkiksi 4,0 Ω ja toinen 2,0 Ω .

Potentiaalikäyrästä saatu kytkentäkaavio:



17. a) Kirchhoffin I lain mukaan on $I = I_1 + I_2$, josta saadaan sähkövirraksi $I_2 = I - I_1 = 11,0 \text{ mA} - 6,8 \text{ mA} = 4,2 \text{ mA}$.

Vastuksen 1 resistanssi on $R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{2 \cdot 1,5 \text{ V}}{0,0068 \text{ A}} \approx 440 \text{ } \Omega$.

Vastukset 2 ja 3 ovat sarjassa, joten vastusyhdistelmän resistanssi on $R_{23} = R_2 + R_3$. Näiden vastusten läpi kulkee sama sähkövirta I_2 . Resistanssi R_{23} on

$$R_{23} = \frac{U}{I_2} = \frac{3,0\text{ V}}{0,0042\text{ A}} = 714,286\ \Omega.$$

Vastuksen 2 resistanssi on

$$R_2 = R_{23} - R_3 = 714,286\ \Omega - 50\ \Omega = 664,286\ \Omega \approx 660\ \Omega.$$

b) Vastuksen 2 tehonkulutus on

$$P_2 = R_2 I_2^2 = 664,286\ \Omega \cdot (0,0042\text{ A})^2 \approx 12\text{ mW}.$$

18. Sähkötehon yhtälöstä $P = RI^2$ saadaan sähkövirraksi $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$.

Lasketaan suurimmat sähkövirrat, jonka lamput k-stävät:

$$\text{lamppu 1, sähkövirta on } I_1 = \sqrt{\frac{P}{R_1}} = \sqrt{\frac{80\text{ W}}{150\ \Omega}} \approx 0,730297\text{ A ja}$$

$$\text{lamppu 2, sähkövirta on } I_2 = \sqrt{\frac{P}{R_2}} = \sqrt{\frac{80\text{ W}}{250\ \Omega}} \approx 0,565685\text{ A}.$$

Lampun 2 maksimivirta on pienempi kuin lampun 1, joten jännite tulee mitoittaa lampun 2 sähkövirran sietokyvyn mukaan. Näin ollen maksimijännite on

$$U_{\text{max}} = R_{\text{kok}} I_2 = (150\ \Omega + 250\ \Omega) \cdot 0,565685\text{ A} \approx 230\text{ V}.$$

19. a) Sähkövirran suunta virtapiirissä on myötäpäivään. Kierretään virtapiiri myötäpäivään lähtien pisteestä A. Kirchhoffin II lain mukaan on

$$\sum \Delta V = 0 \text{ eli } E - R_s I - R_{sA} I - R_2 I - R_1 I = 0.$$

Ratkaistaan yhtälöstä $E = I(R_s + R_{sA} + R_2 + R_1)$ sähkövirta:

$$I = \frac{E}{R_s + R_{sA} + R_2 + R_1} = \frac{6,0 \text{ V}}{0,15 \Omega + 0,20 \Omega + 3,5 \Omega + 2,5 \Omega} = 0,944882 \text{ A} \approx 0,94 \text{ A}.$$

Virtamittarin lukema on 0,94 A.

b) Pisteen A maadoittaminen ei vaikuta piirin sähkövirtaan.

Virtamittarin lukema on 0,94 A.

Kun lisäksi piste B maadoitetaan, sähkövirta kulkee maan kautta vastuksen R_1 ohi. Sähkövirta on

$$I = \frac{E}{R_s + R_{sA} + R_2} = \frac{6,0 \text{ V}}{0,15 \Omega + 0,20 \Omega + 3,5 \Omega} \approx 1,6 \text{ A}.$$

Virtamittarin lukema on 1,6 A.

c) Pisteen C potentiaali on

$$V_C = E - R_s I - R_{sA} I$$

$$= 6,0 \text{ V} - 0,15 \Omega \cdot 0,944882 \text{ A} - 0,20 \Omega \cdot 0,944882 \text{ A} \approx 5,7 \text{ V}.$$

Pisteen C potentiaali on 5,7 V.

- 20.** Kaikki vaihtoehdot voidaan selittää sähkömagneettisen vuorovaikutuksen avulla.

21. Elektroskooppi muodostuu kahdesta metallisesta liuskasta, jotka on eristetty muusta rasiasta.



Kun elektroskoopin nuppia kosketetaan varatulla kappaleella, varausta siirtyy runkoon ja osoittimeen ja ne varautuvat samanmerkkisesti. Osoitin erkanee rungosta sähköisen hylkimisvoiman vuoksi. Erkaneminen on sitä voimakkaampaa mitä suuremmasta varauksesta on kyse. Elektroskooppi ei kerro varauksen merkkiä. Varaus purkautuu vähitellen ympäristöön ja liuskat palaavat lopuksi alkuperäiseen asentoon.

22. H^+ on vetyioni, jossa on yksi protoni eikä yhtään elektronia.

H_2^- on vetyioni, jossa on elektroneja yksi enemmän kuin protoneja.

N^{3+} on typpi-ioni, jossa on protoneja kolme enemmän kuin elektroneja.

He^{2-} on helium ioni, jossa on elektroneja kaksi enemmän kuin protoneja.

CO_2^+ on hiilidioksidi-ioni, jossa on protoneja yksi enemmän kuin elektroneja.

23. c) Coulombin laista $F = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{Q \cdot Q}{r^2}$ saadaan yhtälö $kQ^2 = F\epsilon_r r^2$,
josta varauksen neliö on $Q^2 = \frac{F\epsilon_r r^2}{k}$.

$$\text{Varaus on } Q = \sqrt{\frac{F\epsilon_r r^2}{k}} = \sqrt{\frac{4,1 \text{ mN} \cdot 1,0006 \cdot (0,090 \text{ m})^2}{8,98755 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2}} \approx 61 \text{ nC}.$$

24. a) Koska molemmat varaukset ovat positiivisia, hiukkaset hylkivät toisiaan ja niihin kohdistuvat voimat ovat vastakkaisuuntaisia. Kahden kappaleen vuorovaikutuksessa voimat ovat yhtä suuria. Oikea vaihtoehto on ylin kuva 1).

b) Koska ainoastaan kuvassa 1) oleva tilanne on mahdollinen, vain sitä tarkastellaan.

Coulombin lain mukaan molempiin varauksiin kohdistuvat voimat ovat yhtä suuria ja vastakkaisuuntaisia.

I) Coulombin voiman suuruus on $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$. Koska varaus muuttuu I-kohdassa kolminkertaiseksi, voimat muuttuvat kolminkertaisiksi. Voimat säilyttävät suuntansa.

II) Koska varaukset ovat erimerkkisiä, hiukkaset vetävät toisiaan puoleensa, joten voimien suunnat muuttuvat vastakkaisiksi. Coulombin voiman suuruus on $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$.

Koska välimatka pienenee II-kohdassa puoleen, voimien suuruudet muuttuvat nelinkertaisiksi.

c) Neula varaa ilmapallon kuoren samanmerkkiseksi kuin neula ja generaattorin kupu. Siksi Ilmapallo ja kupu hylkivät toisiaan.

25. 1) Oikein. 2) Oikein. 3) Väärin. 4) Oikein. 5) Väärin.

26. a) Coulombin lain mukaan pallojen toisiinsa kohdistamien voimien suuruus on $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = k \frac{Q^2}{r^2}$. Ratkaistaan yhtälöstä $F = k \frac{Q^2}{r^2}$ varaus:

$$Q^2 = \frac{Fr^2}{k}$$

$$Q = \sqrt{\frac{Fr^2}{k}} = \sqrt{\frac{56 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot (0,12 \text{ m})^2}{8,98755 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}}} = 2,99540 \cdot 10^{-7} \text{ C} \approx 3,0 \cdot 10^{-7} \text{ C}.$$

b) Puuttuvien elektronien määrä on

$$\frac{Q}{e} = \frac{2,99540 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \approx 1,9 \cdot 10^{12} \text{ kpl.}$$

Kummastakin pallosta puuttuu $1,9 \cdot 10^{12}$ elektronia.

27. a) Ionien välinen Coulombin voima on suuruudeltaan

$$F = \frac{k Q_1 Q_2}{\epsilon_r r^2} = \frac{k e \cdot 2e}{\epsilon_r r^2} \\ = \frac{8,98755 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}}{1,0006} \cdot \frac{2 \cdot (1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} = 3,20237 \cdot 10^{-24} \text{ N} \approx 3,2 \cdot 10^{-24} \text{ N}.$$

Koska ionit ovat samanmerkkiset, voima on hylkivä.

b) Newtonin II lain mukaan vetyionin kiihtyvyyden suuruus on

$$a = \frac{F}{m} = \frac{3,20237 \cdot 10^{-24} \text{ N}}{3,3 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} \approx 970 \text{ m/s}^2.$$

28. a) Jos etäisyys r kolminkertaistuu, mutta varaukset eivät muutu,

Coulombin lain $F = \frac{k Q_1 Q_2}{\epsilon_r r^2}$ perusteella voima pienenee yhdeksänteen

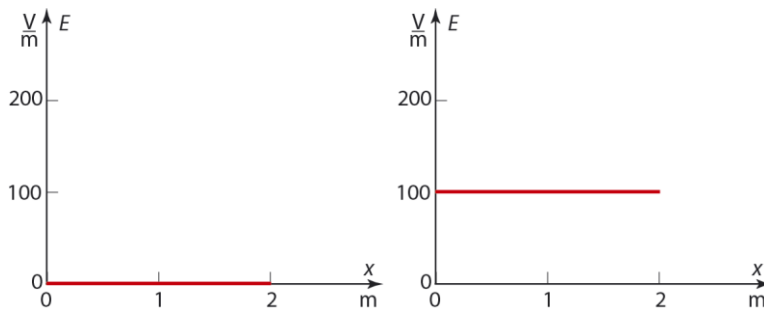
osaan.

b) Jos etäisyys r pienenee kolmasosaan, mutta varaukset eivät muutu, Coulombin lain $F = \frac{k}{\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ perusteella voima kasvaa 9-kertaiseksi.

c) Jos etäisyys kolminkertaistuu ja molemmat varaukset muuttuvat kolminkertaisiksi, Coulombin lain $F = \frac{k}{\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ perusteella sähköisen voiman suuruus pysyy muuttumattomana.

29. Yhtälöstä $V = Ex$ seuraa, että ensimmäisessä tapauksessa sähkökentän voimakkuus on 0 ja jälkimmäisessä tapauksessa

$$E = \frac{V}{x} = \frac{100 \text{ V}}{1 \text{ m}} = 100 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$



30. a) Molempien kappaleiden aiheuttaman sähkökentän voimakkuudet osoittavat mainitussa pisteessä negatiivista varausta kohti. Sähkökentän voimakkuuden suuruus saadaan laskemalla yhteen varausten sähkökentän voimakkuuksien suuruudet:

$$E = E_1 + E_2 = k \frac{Q_1}{r_1^2} + k \frac{Q_2}{r_2^2} = 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \left(\frac{25 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(3,0 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} + \frac{50 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(7,0 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} \right)$$

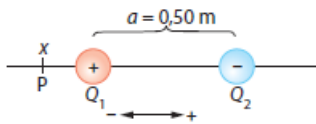
$$= 3,41834 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 3,4 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

b) Koska sähkökentän voimakkuus osoittaa negatiivisesti varautunutta kappaletta kohti, elektroniin vaikuttaa sähköinen voima päinvastaiseen

suuntaan eli positiivisesti varautunutta kappaletta kohti. Koska $\bar{a} = \frac{\bar{F}}{m}$, on elektronin saama kiihtyvyys tähän samaan suuntaan ja kiihtyvyyden suuruus on $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 3,4 \cdot 10^8 \text{ N/C}}{9,10938 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}$

$$= 5,98000 \cdot 10^{19} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 6,0 \cdot 10^{19} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

31. Asetetaan origo varauksen Q_1 kohdalle. Varauksia yhdistävällä suoralla pisteessä P sähkökentän voimakkuus on nolla, jos $\bar{E}_{Q_1} + \bar{E}_{Q_2} = \bar{0}$.



Merkitään pisteen P paikkaa varauksia yhdistävällä suoralla x :llä. Kuvan tilanteessa x on negatiivinen, koska piste P on origon vasemmalla puolella. Pisteessä P positiivisen varauksen Q_1 sähkökentän voimakkuuden suunta on vasemmalle ja varauksen Q_2 oikealle. Merkkisopimukseen mukaan saadaan skalaariyhtälö

$$-E_{Q_1} + E_{Q_2} = 0.$$

Varauksia yhdistävällä suoralla pisteessä P vastakkaisuuntaisten sähkökentän voimakkuuksien summa on nolla, kun sähkökentän voimakkuuksien itseisarvot ovat yhtä suuret.

Koska x on negatiivinen luku, on Q_2 :n etäisyys pisteestä P on $-x + a$. Ratkaistaan pisteen P x -koordinaatti:

$$\begin{aligned}
|E_{Q_1}| &= |E_{Q_2}| \\
\frac{k Q_1}{\epsilon_r x^2} &= \frac{k |Q_2|}{\epsilon_r (-x+a)^2} \\
Q_1(-x+a)^2 &= |Q_2|x^2 \\
Q_1(x^2 - 2xa + a^2) &= |Q_2|x^2 \\
(Q_1 - |Q_2|)x^2 - 2 \cdot Q_1ax + Q_1a^2 &= 0 \\
x &= \frac{2 \cdot Q_1a \pm \sqrt{(2 \cdot Q_1a)^2 - 4 \cdot (Q_1 - |Q_2|)Q_1a^2}}{2(Q_1 - |Q_2|)} \\
&= \frac{2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C} \cdot 0,50 \text{ m} \pm \sqrt{(2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C} \cdot 0,50 \text{ m})^2 - 4 \cdot (2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C} - 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}) \cdot 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C} \cdot (0,50 \text{ m})^2}}{2 \cdot (2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C} - 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ C})},
\end{aligned}$$

josta saadaan $x \approx -0,50 \text{ m}$ tai $x \approx 0,17 \text{ m}$.

Kuvan mukaisessa tilanteessa sähkökentän voimakkuus on nolla positiivisesta varauksesta $0,50 \text{ m}$ vasemmalle. Positiivinen x :n arvo ei kelpaa, sillä varausten välissä sähkökentän voimakkuudet ovat kyseisessä kohdassa yhtä suuria ja samansuuntaisia, joten niiden summa ei voi olla nolla.

32. a) Levyjen välinen jännite on $U = 24,0 \text{ V} - 15,0 \text{ V} = 9,0 \text{ V}$.

b) Sähkökentän voimakkuuden suuruus on

$$E = \frac{U}{d} = \frac{9,0 \text{ V}}{0,054 \text{ m}} = 166,667 \text{ V/m} \approx 170 \text{ V/m}.$$

Homogeenisessa sähkökentässä sähkökentän voimakkuus on kaikkialla sama ja sen suunta on korkeammasta potentiaalista alempaan potentiaaliin eli 24 V :n potentiaalista 15 V :n potentiaaliin päin.

c) Protoniin kohdistuvan sähköisen voiman suuruus on

$$F = qE = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 166,667 \frac{\text{V}}{\text{m}} \approx 2,7 \cdot 10^{-17} \text{ N}.$$

33. Protonien saama liike-energia on yhtä suuri kuin sähköisen voiman tekemä työ $W = qU$ eli

$$E_{\text{kin}} = qU = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 135 \text{ V} \approx 2,16 \cdot 10^{-17} \text{ J}.$$

Koska protonin varaus on $1e$, on liike-energia elektronivolteissa

$$E_{\text{kin}} = qU = 1e \cdot 135 \text{ V} = 135 \text{ eV}.$$

34. a) Tasojen välinen jännite on $U = 165 \text{ V} - 95 \text{ V} = 70 \text{ V}$. Sähkökentän voimakkuuden suuruus on

$$E = \frac{U}{d} = \frac{70 \text{ V}}{0,030 \text{ m}} \approx 2,3 \text{ kV/m},$$

ja suunta kohti alempaa potentiaalia.

b) Siirrossa tehty työ on

$$W = qU = q(V_A - V_B) = 45 \text{ nC} \cdot (110 \text{ V} - 230 \text{ V}) = -5,4 \text{ } \mu\text{J}.$$

Huomaa, että sähköinen voima ja siirtymä ovat vastakkaisuuntaisia, joten työ on negatiivinen. Positiivinen hiukkanen voi siirtyä alemmasta potentiaalista ylempään potentiaaliin, jos sillä on aluksi nopeutta kohti ylempää potentiaalia. Tällöin sähköinen voima tekee työtä ja liike-energia vähenee työn verran ja potentiaali energia kasvaa vastaavasti.

35. Sähkökentän voimakkuus on vakio levyjen A ja B välissä eli välillä $0,0 \text{ mm} \dots 1,0 \text{ mm}$ ja levyjen B ja C välissä eli välillä $1,0 \text{ mm} \dots 2,0 \text{ mm}$. Molemmilla väleillä on homogeeninen sähkökenttä, joten potentiaali muuttuu lineaarisesti kummallakin välillä. Sähkökentän voimakkuuden suunta on ylempää potentiaalista alempaan potentiaaliin. Levyjen sijainnin ja kuvion perusteella sähkökentän voimakkuuden suunta vasemmalle on negatiivinen ja oikealle positiivinen.

Välillä $0,0 \text{ mm} - 1,0 \text{ mm}$ sähkökentän voimakkuuden suuruus on vakio

$$E_1 = -1,0 \frac{\text{kV}}{\text{mm}}.$$

Kohdassa 0,0 mm (levy A) potentiaali on nolla, ja kohdassa 1,0 mm (levy B) potentiaali on positiivinen, joten välillä 0,0 mm ... 1,0 mm potentiaali kasvaa lineaarisesti. Potentiaalinyhtälöstä $V = Ex$ potentiaali välillä

0,0 mm ... 1,0 mm on

$$V(x) = 1,0 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \cdot x.$$

Levyn B potentiaali on

$$V_B = 1,0 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \cdot x = 1,0 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \cdot 1,0 \text{ mm} = 1,0 \text{ kV}.$$

Välillä 1,0 mm ... 2,0 mm sähkökentän voimakkuuden suuruus on vakio

$$E_2 = 0,50 \frac{\text{kV}}{\text{mm}}.$$

Sähkökentän suunta on vasemmalta oikealle. Potentiaali alenee kentän suunnassa. Potentiaalimuutos on

$$\Delta V = -E_2 \Delta x = -0,50 \frac{\text{kV}}{\text{mm}} \cdot 1,0 \text{ mm} = -0,50 \text{ kV},$$

joten levyn C potentiaali on

$V_C = V_B + \Delta V = 1,0 \text{ kV} - 0,50 \text{ kV} = 0,50 \text{ kV}$. Välillä 1,0 mm ... 2,0 mm potentiaalikuvaajasuora kulkee pisteiden

$(x_B, V_B) = (1,0 \text{ mm}; 1,0 \text{ kV})$ ja $(x_C, V_C) = (2,0 \text{ mm}; 0,50 \text{ kV})$ kautta.

Lähtemällä tämän suoran yhtälöstä

$$V - V_B = \frac{V_C - V_B}{x_C - x_B} (x - x_B)$$

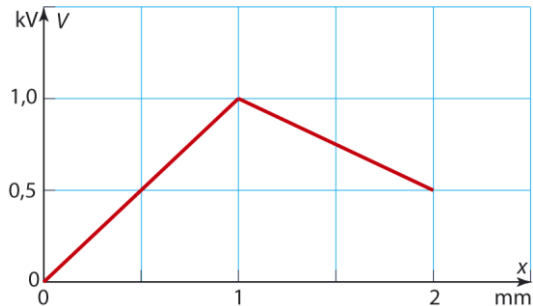
voimme johtaa potentiaalifunktion $V(x)$:

$$V - 1,0 \text{ kV} = \frac{0,50 \text{ kV} - 1,0 \text{ kV}}{2,0 \text{ mm} - 1,0 \text{ mm}}(x - 1,0 \text{ mm})$$

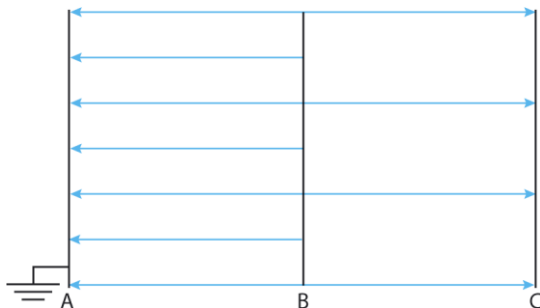
$$V - 1,0 \text{ kV} = -0,50 \frac{\text{kV}}{\text{mm}}(x - 1,0 \text{ mm})$$

$$V = V(x) = -0,50 \frac{\text{kV}}{\text{mm}}x + 1,5 \text{ kV}$$

Potentiaalin kuvaaja on ohessa.



Sähkökenttää esittävässä piirroksessa kenttäviivojen tiheys kuvaa sähkökentän voimakkuutta levyjen välissä. Koska levyjen A ja B välillä sähkökentän voimakkuuden suuruus on kaksinkertainen verrattuna sen suuruuteen levyjen B ja C välillä, kenttäviivoja on välillä AB kaksi kertaa niin tiheässä kuin välillä BC.



36. a) Koska levyt ovat laajat ja yhdensuuntaiset, niiden välissä olevan homogeenisen sähkökentän voimakkuuden suuruus on

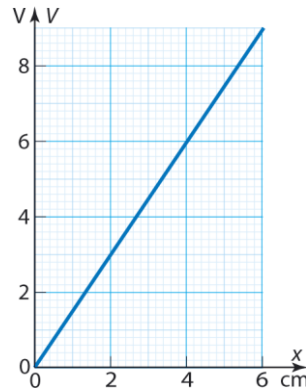
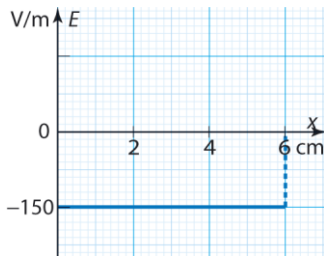
$$E_1 = \frac{U_{AB}}{x} = \frac{V_A - V_B}{x} = \frac{0 \text{ V} - 9,0 \text{ V}}{0,060 \text{ m}} = -150 \text{ V/m.}$$

Koska homogeenisessä sähkökentässä jännite on $U_{AB} = V_A - V_B = Ex$, levyn B potentiaali on

$$V_B = V_A - Ex = 0 \text{ V} - Ex = -Ex.$$

Potentiaali kasvaa lineaarisesti 6,0 cm matkalla arvosta 0 V arvoon

$$V = -Ex = -(-150 \text{ V/m}) \cdot 0,060 \text{ m} = 9,0 \text{ V}.$$



- b) Välillä 1,0 cm ... 3,0 cm johdelevyissä sähkökentän voimakkuuden suuruus on $E = 0 \text{ V/m}$ ja potentiaali $V = \text{vakio}$. Sähkökentän voimakkuuden suuruus johdelevyn ulkopuolella eli väleillä 0,0 cm ... 1,0 cm ja 3,0 cm ... 6,0 cm on

$$E_2 = \frac{U_{AB}}{x_1 + x_2} = \frac{V_A - V_B}{x_1 + x_2} = \frac{-9,0 \text{ V}}{0,010 \text{ m} + 0,030 \text{ m}} = -225 \text{ V/m.}$$

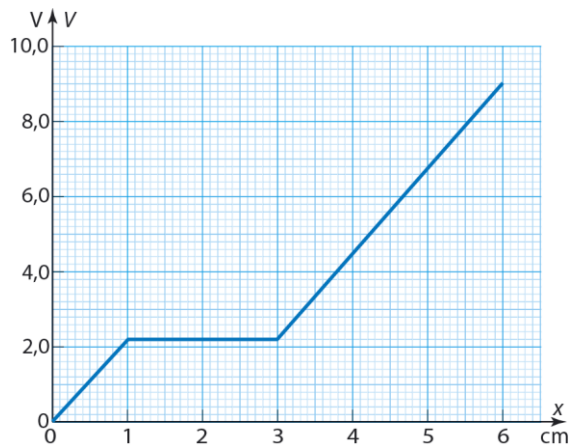
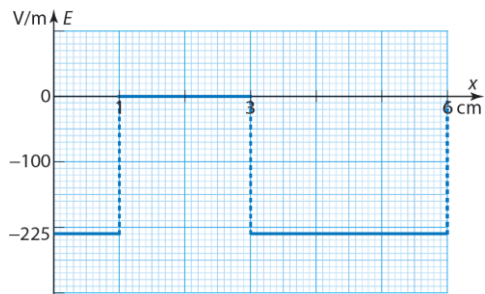
Potentiaali kasvaa lineaarisesti väleillä 0,0 cm ... 1,0 cm ja
3,0 cm ... 6,0 cm.

Potentiaali 1,0 cm kohdalla on

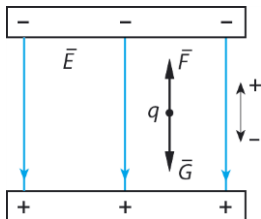
$$V = -Ex = -(-225 \text{ V/m}) \cdot 0,010 \text{ m} = 2,25 \text{ V ja}$$

6,0 cm kohdalla on

$$V = -Ex = -(-225 \text{ V/m}) \cdot 0,040 \text{ m} = 9,0 \text{ V.}$$



37. Pisaraan vaikuttavat voimat ovat paino \vec{G} ja sähköinen voima \vec{F} . Öljypisara pysyy levossa kahden vaakasuoran johdelevyn välisessä sähkökentässä. Newtonin II lain mukaan on $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$ eli $\vec{F} + \vec{G} = \vec{0}$. Kun suunta ylös on positiivinen, skalaariyhtälö on $F - G = 0$ eli $qE - mg = 0$.



Ratkaistaan levyjen välinen jännite:

$$qE = mg \text{ eli } q \frac{U}{d} = mg, \text{ joten jännite on}$$

$$U = \frac{mgd}{q} = \frac{3,0 \cdot 10^{-14} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,010 \text{ m}}{2 \cdot 1,6021773 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \approx 9,2 \text{ kV}.$$

38. Kondensaattorin varaus riippuu kapasitanssista ja jännitteestä yhtälön $Q = CU$ mukaisesti. Mitä suurempia kapasitanssi C ja jännite U ovat, sitä suurempi on myös kondensaattorin varaus Q . Kondensaattorin latautumisnopeus riippuu vastuksen resistanssin suuruudesta: mitä suurempi resistanssi, sitä pitempi latautumisaika.

39. a) Levykondensaattorin kapasitanssi saadaan yhtälöstä $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$, josta kondensaattorin levyn pinta-ala on

$$A = \frac{Cd}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{1,0 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot 0,010 \text{ m}}{8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 1,0006} \approx 1,1 \text{ m}^2.$$

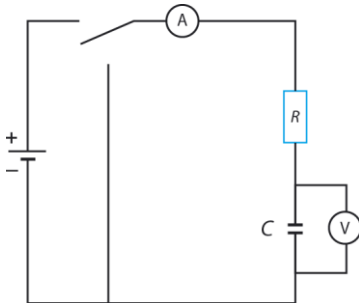
- b) Levykondensaattorin kapasitanssi aluksi on $C_1 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$, ϵ_r on ilman suhteellinen permittiivisyys. Kun kondensaattorin levyjen väliin pannaan eriste, jonka suhteellinen permittiivisyys on kuusinkertainen ilman permittiivisyyteen verrattuna ja levyjen väliä pienennetään puoleen

alkuperäisestä, uuden kondensaattorin kapasitanssi on

$$C_2 = \varepsilon_0 \cdot 6\varepsilon_r \frac{A}{d/2} = 12\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} = 12C_1.$$

Kapasitanssi muuttuu 12-kertaiseksi.

40. a) Kondensaattori voidaan varata koskettamalla sen levyjä varatulla kappaleella tai kytkemällä kondensaattori paristoon tai jännitelähteeseen. Latausvirtaa voidaan tarkastella tietokonepohjaisen mittausjärjestelmän avulla.



- b) Kondensaattorin sähkövaraus saadaan t, I -koordinaatistosta fyysisenä pinta-alana: ruutuja on noin 8,4. Yhtä ruutua vastaa sähkövaraus $1,0 \text{ mA} \cdot 1,0 \text{ ms} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ As} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. Näin ollen kondensaattorin sähkövaraus on $Q = 8,4 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. Kondensaattorin kapasitanssi on

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{8,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{9,0 \text{ V}} \approx 0,93 \mu\text{F}.$$

- c) Koska jännite oli 9,0 V ja sähkövirta 5,5 mA, on vastuksen resistanssi

$$R = \frac{U}{I} = \frac{9,0 \text{ V}}{5,5 \text{ mA}} \approx 1,6 \text{ k}\Omega.$$

41. Kondensaattorin energian yhtälöstä $E_1 = \frac{1}{2}QU_1$ saadaan kondensaattorin varaukseksi

$$Q = \frac{2E_1}{U_1} = \frac{2 \cdot 12 \text{ mJ}}{110 \text{ V}} \approx 2,18182 \cdot 10^{-4} \text{ C.}$$

Jännitteen kasvun jälkeen jännite on $U_2 = 110 \text{ V} + 120 \text{ V} = 230 \text{ V}$ ja energia

$$E = \frac{1}{2}QU_2 = \frac{1}{2} \cdot 2,18182 \cdot 10^{-4} \text{ C} \cdot 230 \text{ V} \approx 25 \text{ mJ.}$$

42. a) Sähkövirta kulkee diodin läpi vain yhteen suuntaan. Tämän ansiosta diodia voi käyttää esimerkiksi tasasuuntaukseen. Hohtodiodit lähettävät valoa, joten niitä voidaan käyttää esimerkiksi valaisimissa ja erilaisina merkkivaloina.

b) Diodit valmistetaan puolijohteista, joista tavallisimpia ovat pii, germanium ja gallium.

43. a) Etuvastuksella säädetään ledin jännite suunnilleen ledin kynnysjännitteen kokoiseksi, sillä jos jännite ylittää kynnysarvon, ledin läpi kulkeva sähkövirta kasvaa nopeasti ja saattaa rikkoa ledin.

b) Etuvastuksen jännitehäviön tulee olla $U_{\text{etuvastus}} = 9 \text{ V} - 2,8 \text{ V} = 6,2 \text{ V}$, jotta ledin jännite olisi kynnysjännitteen kokoinen. Koska tarvittava virta on 20 mA, saadaan vastuksen resistanssiksi

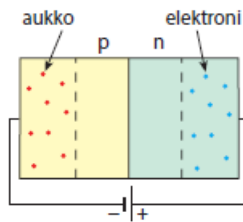
$$R = \frac{U_{\text{etuvastus}}}{I} = \frac{6,2 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 310 \Omega.$$

Kytkenässä tulee käyttää 330 Ω :n vastusta, koska pienempiä vastuksia käytettäessä ledin läpi kulkeva virta kasvaisi liian suureksi ja ledi saattaisi rikkoutua.

- 44.** a) Epäpuhtausatomia, jonka ulkokuorella on yksi elektroni vähemmän kuin puolijohteen atomissa, kutsutaan akseptoriksi eli ottajaksi. Akseptorin kohdalle atomien välisiin sidoksiin jää tyhjä paikka, aukko, josta puuttuu elektroni. Akseptori sitoo aukkoon elektronin naapuriatomista, johon puolestaan jää aukko. Tähän aukkoon voi siirtyä elektroni toisesta lähiatomista, ja niin edelleen. Kiteessä kulkee silloin sähkövirta atomisidoksesta toiseen siirtyvien elektronien muodossa. Voidaan myös ajatella, että sähkövirta on aukon etenemistä kiteessä. Aukko käyttäytyy kuten positiivisesti varautunut hiukkanen, ja se kulkee vastakkaiseen suuntaan kuin elektronit, ts. sähkövirran suuntaan. Akseptoreilla seostettua puolijohdetta kutsutaan p-tyyppin puolijohdeksi, koska siinä varauksenkuljettajilla – aukkoilla – on positiivinen varaus. Kun piihin seostetaan kolmannen pääryhmän alkuainetta, esimerkiksi booria, syntyy p-tyyppin puolijohde. Booriatomin ja piiatomien välisiin sidoksiin jää yhteen kohtaan aukko, koska boorilla on ulkokuorellaan vain kolme elektronia. Aukko toimii sähkökuljettajana siirtyessään sidoksesta toiseen koko kiteen läpi.
- b) Epäpuhtausatomia, jossa ulkokuorella on yksi elektroni enemmän kuin puolijohteen atomissa, kutsutaan donoriksi eli antajaksi. Donori luovuttaa kiteeseen ylimääräisen elektronin, jota se ei tarvitse sidoksiin puolijohdeatomien kanssa. Tämä elektroni voi toimia varauksenkuljettajana. Donoreilla seostettua puolijohdetta kutsutaan n-tyyppin puolijohdeksi, koska siinä varauksenkuljettajina toimivat negatiivisesti varatut elektronit. Esimerkiksi piistä saadaan n-tyyppin puolijohde, kun siihen seostetaan viidennen pääryhmän alkuainetta, esimerkiksi arseenia. Arseenilla on uloimmalla kuorellaan viisi elektronia, joista neljä asettuu lujasti arseenin sidoksiin ympäröivien piiatomien kanssa ja viides jää vapaaksi.

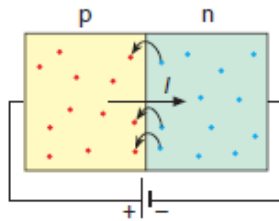
45. a) Ennen p-tyyppin puolijohteen ja n-tyyppin puolijohteen yhdistämistä diodiksi molemmat puolijohteet ovat sähköisesti neutraaleja. Kun puolijohteet yhdistetään, liitoskohdan lähistöllä olevia n-puolen elektroneja alkaa lämpöliikkeen tai päästösuuntaisen jännitteen vaikutuksesta siirtyä p-puolelle. Kun elektroni kohtaa atomisidoksessa olevan aukon, se asettuu siihen, minkä jälkeen elektroni ja aukko eivät enää toimi varauksenkuljettajina. Tätä kutsutaan rekombinaatioksi.

b) Jos pn-liitos on kytketty estosuuntaiseen jännitteeseen, rekombinaation seurauksena liitoskohdan läheisyyteen muodostuu alue (leveys $0,5-1 \mu\text{m}$), jossa ei ole varauksenkuljettajia. Aluetta kutsutaan tyhjennysalueeksi.



c) Kun vapaat elektronit ja aukot ovat hävinneet pn-liitoskohdan ympäristöstä ja tyhjennysalue on muodostunut, molemmille puolille pn-liitosta jää nettovaraus: p-puolella on akseptori-ionien aiheuttama negatiivinen varaus ja n-puolella donori-ionien aiheuttama positiivinen varaus. Ionit ovat sidottuina kiderakenteeseen, ja ne eivät liiku. Varaukset aiheuttavat sähkökentän, jonka suunta on n-tyyppin puolijohteesta p-tyyppin puolijohteeseen. n-puolen ja p-puolen välistä potentiaalieroa sanotaan kynnysjännitteeksi.

d) Diodi on kytketty päästösuuntaan, kun p-puoli on yhdistetty jännitelähteen positiiviseen ja n-puoli negatiiviseen napaan. Syntyvä päästösuuntainen jännite on vastakkainen tyhjennysalueella vallitsevalle kynnysjännitteelle.



Kun päästösuuntainen jännite ylittää kynnyksjännitteen arvon, sähkökentän suunta liitosalueella on p-alueesta n-alueeseen. Tämä sähkökenttä kuljettaa p-alueen aukkoja ja n-alueen elektroneja pn-rapintaa kohti, jossa ne rekombinoituvat. Diodin läpi kulkee silloin sähkövirta päästösuuntaan eli p-alueesta n-alueelle. Sähkövirta kasvaa nopeasti jännitteen kasvaessa.

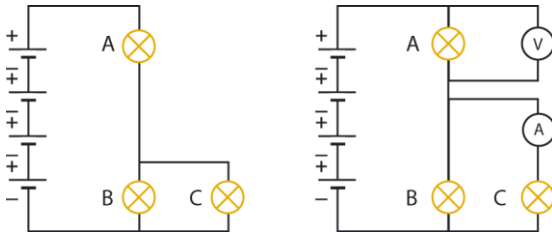
46. a) Asuinhuoneiston sulakkeet sijaitsevat sähkökeskuksessa. Kerrostaloasunnossa se on usein huoneiston eteisessä.
- b) Suojamaadoitetun laitteen pistotulpassa on metalliliuskat (maadoitus), suojaeristetyn laitteen pistotulpassa vain kohtiot.
- c) Kyllä.
- d) Ensimmäisenä sähkölaitteesta on katkaistava virta esim. huoneiston pääkytkimestä. Pienen sähkölaitetulipalon voit tukahduttaa esim. sammutuspeitteellä tai käyttämällä käsisammutinta.
- e) Päivämäärä 11.2. muistuttaa yleisestä hätänumerosta 112.
- f) Kodin sähkökeskuksen sijainti on hyvä tietää, koska siellä sijaitsevat kodin sulakkeet ja pääkytkin.

47. a) Kyllä.
 b) Kyllä.
 c) Väärin. Kylpyhuoneessa saa käyttää vain kosteisiin tiloihin suunniteltuja sähkölaitteita.
 d) Kyllä.
 e) Kyllä.
 f) Väärin. Kolmivaihelaitteita (esimerkiksi sähköliesi ja kiuas) varten ryhmäkeskuksessa on kolme sulaketta. Kun laite halutaan tehdä jännitteettömäksi, kaikki sulakkeet on kytkettävä pois päältä.
 g) Kyllä.
 h) Väärin. Ihmiskehossa verisuonet ja kudokset johtavat hyvin sähköä, luut puolestaan huonosti.

VANHOJA YLIOPPILASTEHTÄVIÄ

K2015/7

- a) Vasemmanpuoleinen piirros on kytkennän kytkentäkaavio:



- b) Oikeanpuoleinen piirros yllä on kytkentäkaavio täydennettynä mittareilla. Virtamittari kytketään lampun kanssa sarjaan ja jännitemittari lampun kanssa rinnan.

S2015/7

$$R_1 = 2,0 \, \Omega, R_2 = 14,0 \, \Omega$$

a) Jännitelähteen napajännite on $U_{BA} = V_B - V_A = 8,0 \, \text{V} - 0,0 \, \text{V} = \underline{8,0 \, \text{V}}$.

b) Kun verrataan jännitelähteen sisäisen resistanssin aiheuttamaa potentiaalın muutosta muiden vastusten aiheuttamiin potentiaalın muutoksiin, huomataan, että sisäisen resistanssin aiheuttama potentiaalın muutos on yhtä suuri kuin vastuksen R_1 aiheuttama potentiaalın muutos. Koska vastukset on kytketty sarjaan, kaikkien vastusten läpi kulkee sama sähkövirta. Siksi jännitelähteen sisäinen resistanssi on yhtä suuri kuin vastuksen R_1 resistanssi eli $2,0 \, \Omega$.

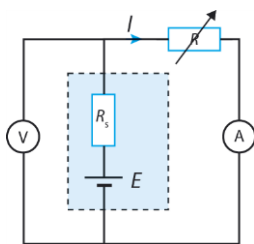
c) Kirjoitetaan Kirchhoffin II laki kiertämällä virtapiiri vastapäivään lähtien pisteestä A:

$\Sigma \Delta V = 0$ eli $E - R_s I - R_2 I - R_1 I = 0$ eli $E - I(R_s + R_2 + R_1) = 0$, josta saadaan virtapiirissä kulkeväksi sähkövirraksi

$$I = \frac{E}{R_s + R_2 + R_1} = \frac{9,0 \, \text{V}}{2,0 \, \Omega + 2,0 \, \Omega + 14 \, \Omega} = \underline{0,50 \, \text{A}}.$$

K2014/7

a) Kytentäkaavio:



b) Jännitemittari mittaa pariston napajännitteen U ja virtamittari pariston läpi kulkevan sähkövirran I . Jännitemittarin läpi kulkeva virta ja virtamittarin aiheuttama jännitehäviö ovat pieniä, joten niitä ei oteta huomioon. Oletetaan, että pariston lähdejännite E pysyy vakiona mittauksen ajan.

Jännitelähteen sisäinen resistanssi R_s ja ulkoinen vastuksen resistanssi R aiheuttavat sähkövirran suunnassa tarkasteltuna jännitehäviön.

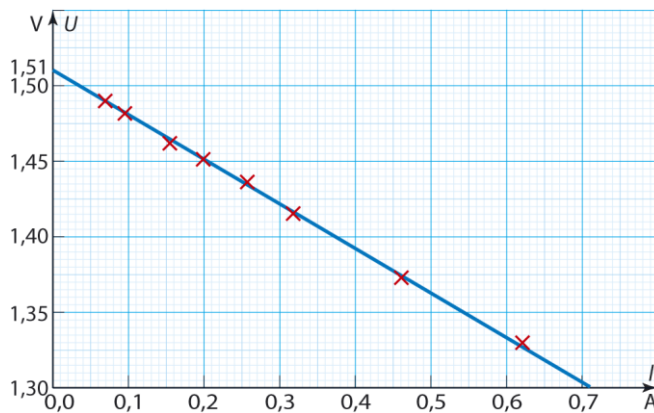
Jännitehäviö vastuksessa on $U = IR$.

Kirchhoffin II lain perusteella potentiaalimuutosten summa suljetussa silmukassa on nolla, joten

$$E - IR_s - IR = 0.$$

Kuormitetun jännitelähteen napajännite on $U = E - R_s I$.

Esitetään mittaustulokset I, U -koordinaatistossa.



Akun sisäinen resistanssi saadaan I, U -koordinaatistoon piirretyn suoran $U = E - R_s I$ fysikaalisen kulmakertoimen itseisarvona:

$$R_s = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{1,30 \text{ V} - 1,51 \text{ V}}{0,71 \text{ A} - 0,00 \text{ A}} \right| \approx \underline{\underline{0,30 \Omega}}.$$

Suoran ja U -akselin leikkauskohdasta ekstrapoloimalla saatu lähdejännite on $\underline{\underline{E \approx 1,51 \text{ V}}}$.

S2012/7

Kuva A esittää päästösuuntaan kytkettyä diodia. Diodi on kytketty päästösuuntaan, kun p-puoli on yhdistetty jännitelähteen positiiviseen ja n-puoli negatiiviseen napaan. Syntyvä päästösuuntainen jännite on vastakkainen tyhjennysalueella (vaalea alue) vallitsevalle kynnysjännitteelle. Kun päästösuuntainen jännite ylittää kynnysjännitteen arvon, sähkökentän suunta liitosalueella on p-alueesta n-alueeseen. Tämä sähkökenttä kuljettaa p-alueen aukkoja ja n-alueen elektroneja pn-rajapintaa kohti, jossa ne rekombinoituvat. Diodin läpi kulkee silloin sähkövirta päästösuuntaan eli p-alueesta n-alueelle ja tyhjennysalue kapenee.

Kuva B esittää kytkemätöntä diodia. pn-liitoksen ympäristöön syntyy tyhjennysalue, jossa ei ole varauksenkuljettajia. Kun vapaat elektronit ja aukot rekombinoituvat, tyhjennysalueelle jää jäljelle negatiivisia akseptori-ioneita ja positiivisia donori-ioneita. Ne aiheuttavat n-puolelta p-puolelle suuntautuvan sähkökentän.

Kuva C esittää estosuuntaan kytkettyä diodia. Estosuuntaisessa kytkennässä diodin p-puoli on yhdistetty jännitelähteen negatiiviseen ja n-puoli positiiviseen napaan. Jännitelähteen positiivinen napa vetää puoleensa n-alueen elektroneja ja negatiivinen napa p-alueen aukkoja. Elektronit ja aukot siirtyvät silloin entistä kauemmas toisistaan ja pn-rajapinnasta. Tyhjennysalue levenee, eikä sähkövirta kulje diodin läpi.

K2010/7

$$U = 6,25 \text{ V}$$

a) Sähkövirran kuljettama varaus aikavälinä Δt on $\Delta Q = I \cdot \Delta t$, jos sähkövirta on vakio. Kondensaattorin purkautuessa virta pienenee. Ladatun kondensaattorin sähkövaraus lasketaan I, t -koordinaatistossa virtakäyrän ja aika-akselin väliin jäävän fysikaalisen pinta-alan avulla. Pinta-ala koostuu noin 25 ruudusta ja yhden ruudun pinta-ala on $1,0 \text{ s} \cdot 0,10 \text{ mA} = 0,10 \text{ mC}$.

Ladatun kondensaattorin varaus oli $Q = 25 \cdot 0,10 \text{ mC} = \underline{2,5 \text{ mC}}$.

b) Koska ladatun kondensaattorin jännite oli $U = 6,25 \text{ V}$ ja varaus $Q = 2,5 \text{ mC}$, kondensaattorin kapasitanssi on

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mC}}{6,25 \text{ V}} = \underline{0,40 \text{ mF}}$$

c) Kondensaattorin purkamisen alkuhetkellä jännite on $U = 6,25 \text{ V}$ ja kuvan perusteella virta $I = 1,31 \text{ mA}$, joten purkamisessa käytetyn vastuksen resistanssi on $R = \frac{U}{I} = \frac{6,25 \text{ V}}{1,31 \cdot 10^{-3} \text{ A}} \approx \underline{4,8 \text{ k}\Omega}$.

K2013/7

$$2r = 18,0 \text{ cm}, d_1 = 5,7 \text{ mm}, d_2 = 25,0 \text{ mm}, U = 48 \text{ V},$$

$$\varepsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}, \varepsilon_{r,\text{ilma}} = 1,0006$$

a) Levykondensaattorin kapasitanssi on $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$, jossa A on levyjen pinta-ala, d levyjen välimatka, ε_0 tyhjiön permittiivisyys ja ε_r levyjen välissä olevan aineen suhteellinen permittiivisyys.

Kapasitanssi on

$$\begin{aligned} C_1 &= \varepsilon_0 \varepsilon_{r,\text{ilma}} \frac{A}{d_1} = \varepsilon_0 \varepsilon_{r,\text{ilma}} \frac{\pi r^2}{d_1} \\ &= 8,85419 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 1,0006 \cdot \frac{\pi \cdot (0,090 \text{ m})^2}{0,0057 \text{ m}} = 3,95521 \cdot 10^{-11} \text{ F}. \end{aligned}$$

Kondensaattorin varaus on

$$Q_1 = C_1 U_1 = 3,95521 \cdot 10^{-11} \text{ F} \cdot 48 \text{ V} = 1,89850 \cdot 10^{-9} \text{ C} \approx 1,9 \text{ nC}.$$

Kondensaattorin energia on

$$E_1 = \frac{1}{2} C_1 U_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 3,95521 \cdot 10^{-11} \text{ F} \cdot (48 \text{ V})^2 \approx \underline{\underline{4,6 \cdot 10^{-8} \text{ J}}}$$

b) Levyjen välimatkaksi muutetaan 25,0 mm. Levyt on eristetty ympäristöstään, joten kondensaattorin varaus ei muutu levyjen välimatkan muuttuessa. Varaus on $Q_2 = \underline{\underline{1,9 \text{ nC}}}$.

Kondensaattorin kapasitanssi on

$$\begin{aligned} C_2 &= \varepsilon_0 \varepsilon_{r,\text{ilma}} \frac{A}{d_2} = \varepsilon_0 \varepsilon_{r,\text{ilma}} \frac{\pi r^2}{d_2} \\ &= 8,85419 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 1,0006 \cdot \frac{\pi \cdot (0,090 \text{ m})^2}{0,0250 \text{ m}} = 9,01788 \cdot 10^{-12} \text{ F}. \end{aligned}$$

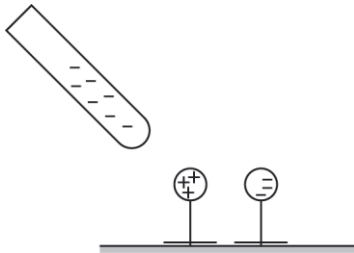
Kondensaattorin energia on

$$E_2 = \frac{1}{2} C_2 U_2^2 = \frac{1}{2} C_2 \left(\frac{Q_2}{C_2} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{Q_2^2}{C_2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1,89850 \cdot 10^{-9} \text{ C})^2}{9,01788 \cdot 10^{-12} \text{ F}} \approx \underline{\underline{2,0 \cdot 10^{-7} \text{ J}}}.$$

c) Kun levyjä siirretään kauemmaksi toisistaan, tehdään työtä sähköistä voimaa vastaan. Työ muuntuu kondensaattorin energiaksi, ja siksi energia kasvaa.

K2003/13

a)



Eboniittisauvan sähkökentän synnyttämän sähköisen voiman vaikutuksesta sauvan negatiivinen varaus hylkii metallipallon elektroneja. Kun sauva tuodaan pallojen lähelle, sähköisestä influenssista johtuen elektronit siirtyvät palloissa pois päin sauvasta ja vastaavasti sauvan puolelle jää positiivinen varaus. Palloon A jää positiivinen ja palloon B itseisarvoltaan yhtä suuri negatiivinen varaus, kun pallot siirretään irti toisistaan.

b) Kondensaattorin levyt ovat suuret ja lähellä toisiaan, joten levyjen välillä olevaa sähkökenttää voidaan pitää homogeenisena. Kun kytkin on suljettuna ja pariston navat on kytketty johtimilla kondensaattorin levyihin, levyjen jännite U pysyy koko ajan vakiona (= pariston jännite).

Koska levykondensaattorin kapasitanssi on $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$, kapasitanssi pienenee, kun välimatka kasvaa.

Koska kapasitanssi pienenee, yhtälön $Q = CU$ mukaisesti myös kondensaattorin varaus Q pienenee (eli varausta siirtyy paristoon). Levyjen välillä oleva homogeenisen sähkökentän voimakkuuden suuruus on $E = U/d$, joten myös E pienenee, kun välimatka kasvaa.

c) Kun kytkin on auki, varaukset eivät pääse siirtymään levyistä, sillä levyjen erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa etäisyyden kasvamisesta huolimatta. Varaus Q pysyy siis vakiona. Homogeeninen sähkökentän voimakkuuden suuruus levyjen välillä on $E = \frac{U}{d}$ ja

jännite $U = \frac{Q}{C}$, joten $E = \frac{Q}{Cd}$. Kapasitanssi on $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$, joten sähkökentän voimakkuuden suuruus on $E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} d} = \frac{Q}{A \epsilon_0 \epsilon_r}$.

Koska yhtälön oikean puolen suureet pysyvät vakiona, myös sähkökentän voimakkuuden suuruus E pysyy vakiona, kun levyjen etäisyys kasvaa.

Levyjen välinen jännite on $U = Ed$, joten jännite kasvaa, kun etäisyys d kasvaa ($E = \text{vakio}$).