



FY 6 Sähkö

FM Jani Tuovinen



Aluksi

- Kuten yleensä fysiikassa, myös sähköopissa pyritään luonnon ilmiöitä mallintamaan matemaattisesti
 - Etsi kirjan tehtävissä käytetyt kaavat MAOL:sta
 - Katso esimerkkitehtävät läpi ja käytä niitä apuna
 - Opettele tekemään myös kaavamerkinnot laskuihin!





Sähköinen varautuminen

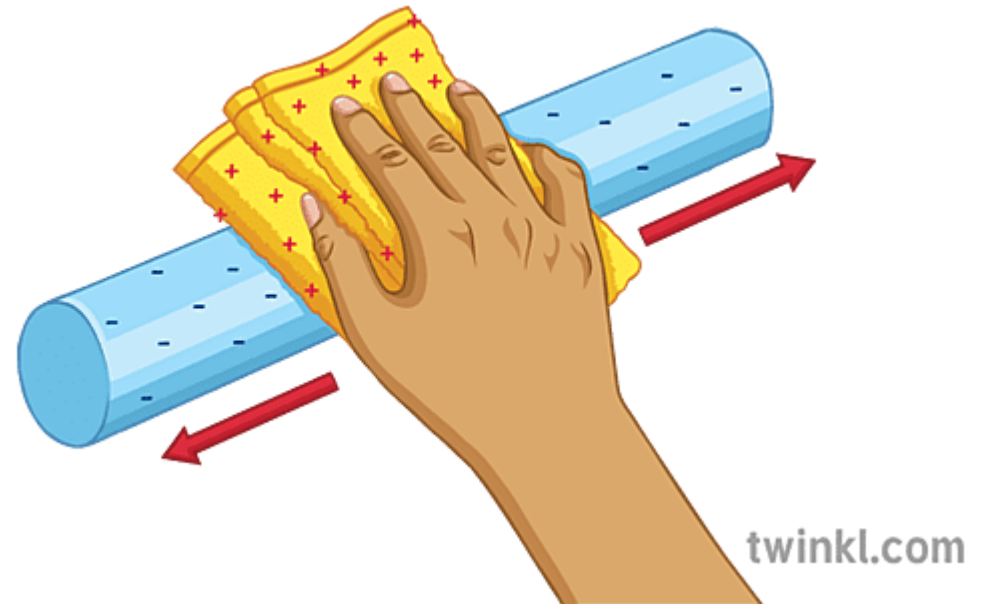
Tutkimus 1

- Ota kaksi muovisauvaa, lasisauva, villalanka ja pyörimisalusta
- Kokeile vaikuttavatko muovisauvat toisiinsa jollakin tavalla
- Hankaa muovisauvoja villalangalla ja toista koe
- Hankaa lasisauvaa muovilla ja kokeile sen vuorovaikutusta varattuun muovisauvaan



Varautuminen

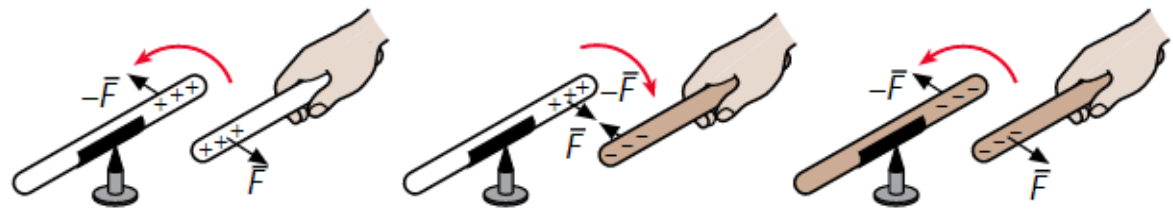
- Kappale voi varautua esimerkiksi sitä hangattaessa.
 - Toisen kappaleen pinnalta irtoaa elektroneja, jolloin toiseen kappaleeseen syntyy negatiivisten varausten ylimäärä
- Varautuminen voi tapahtua myös influenssin tai polarisoitumisen kautta



Sähköinen vuorovaikutus

Sähköinen vuorovaikutus

- Sähköisesti varattujen kappaleiden välillä voidaan havaita sähköinen vuorovaikutus.
- On olemassa positiivisia ja negatiivisia sähkövarauksia.
- Samanmerkkisesti varatut kappaleet hylkivät toisiaan ja erimerkkisesti varatut kappaleet vetävät toisiaan puoleensa.
- Varattujen kappaleiden välinen voima on etävoima.
- Sähköisen vuorovaikutuksen aiheuttamaa voimaa kutsutaan sähköiseksi voimaksi.
- Sähköisesti neutraalissa kappaleessa positiivisia ja negatiivisia varauksia on yhtä paljon.



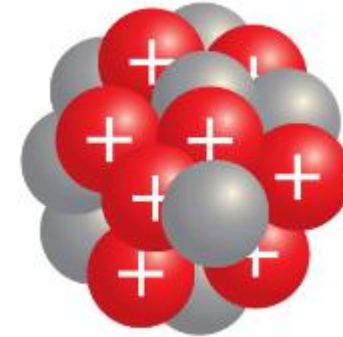
Sähköiset hylkimis- ja vetovoimat ovat Newtonin III lain (voiman ja vastavoiman lain) mukaisesti yhtä suuret ja vastakkaissuuntaiset. Niiden merkinnät kuvassa ovat $\vec{F}$ ja $-\vec{F}$.

Alkeisvaraus on pienin luonnossa esiintyvä sähköinen varaus

Sähkövaraus

- Sähkövaraus on hiukkasen tai kappaleen ominaisuus joka aiheuttaa sähkömagneettisen vuorovaikutuksen.
- Sähkövarauksen tunnus on Q .
- Sähkövarauksen yksikkö on SI-järjestelmässä coulombi (C).
- Pienintä luonnossa havaittua sähkövarausta sanotaan alkeisvaraukseksi.
- Alkeisvaraus on luonnonvakio, ja sen arvo on $e = 1,602\,176\,620\,8 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

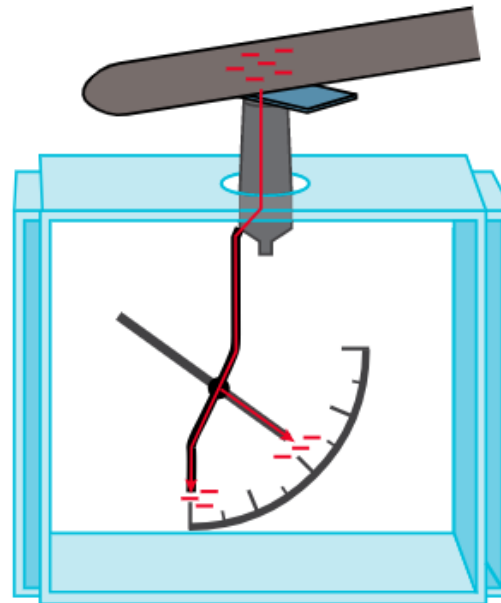
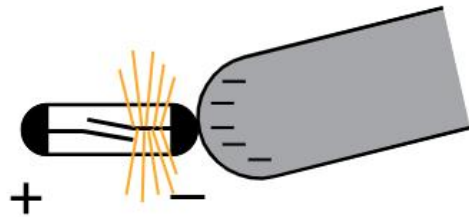
Hiukkanen	Varaus
elektroni	$-e$
protoni	$+e$
neutroni	0



Kappaleen sähköinen varaus voidaan osoittaa



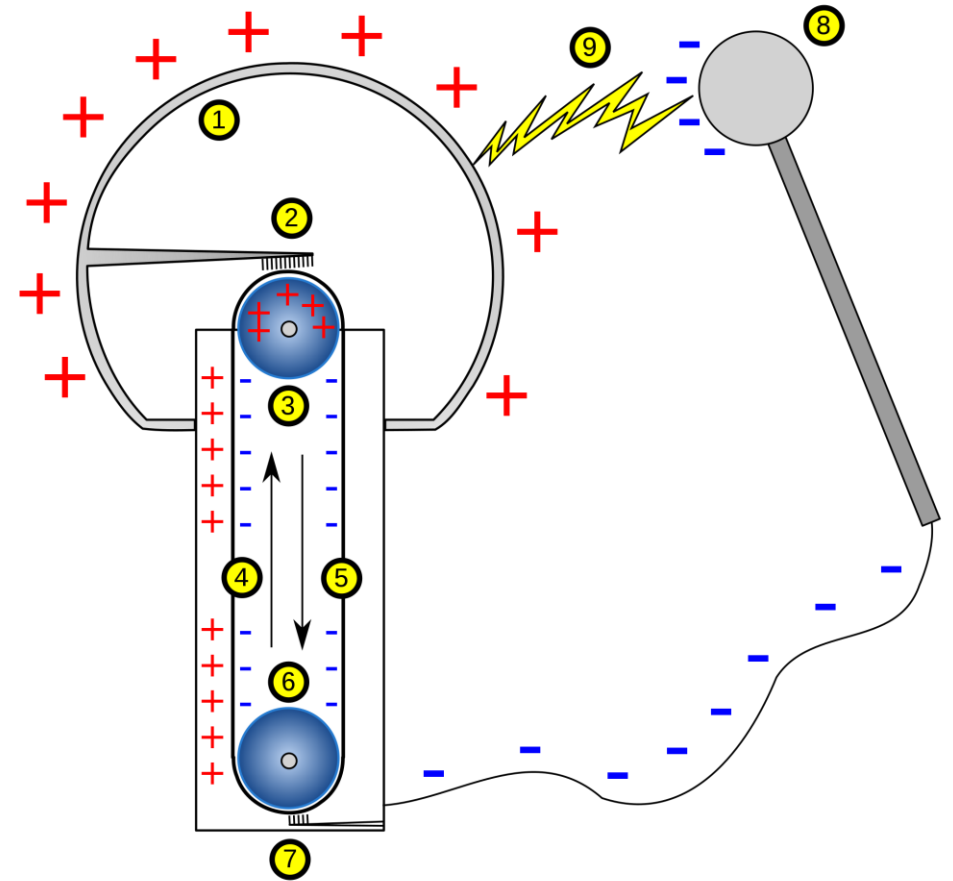
Hohtolamppu ja muovisauva. Sauvan varaus on negatiivinen.



Samanmerkkisesti varautuneet metalliviisari ja varsi hylkivät toisiaan.

Sähkövarauksen purkautuminen

- Varaukset voivat siirtyä kappaleiden välillä, jos ne ovat riittävän lähekkäin
 - Tyypillisesti havaitaan lyhyt kipinäpurkaus
- Aineet voidaan jakaa eriluokkiin niiden varauksen johtokyvyn mukaan
 - Johteet
 - Puolijohteet
 - Eristeet



Esimerkki 1

Kahden metallipallon varaukset ovat A: +10 pC ja B: -15 pC. Pallot yhdistetään kuparilangalla. Vastaa seuraaviin kysymyksiin:

- a) Millaisen varauksen pallot saavat?
- b) Mihin suuntaan elektronit siirtyvät?
- c) Paljonko elektroneja siirtyy toiseen palloon?

Kappaleen sähkövaraus

Kappaleen sähkövaraus Q on alkeisvarauksen e monikerta eli

$$Q = \pm ne,$$

jossa $n = 0, 1, 2, \dots$

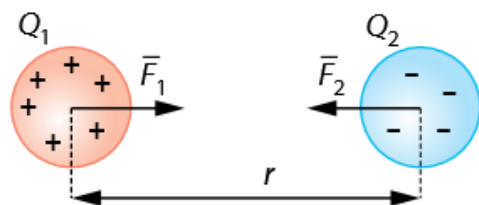
Tehtäviä

- 1-7
- 1-11
- 1-12
- 1-13
- 1-14
- 1-15

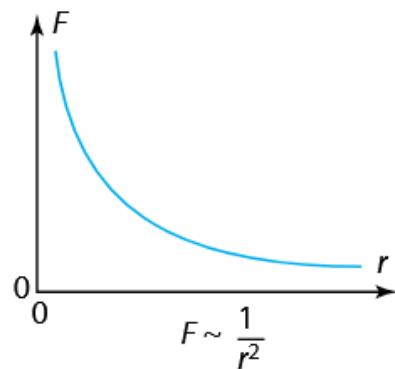


Coulombin laki

Sähköinen voima ja Coulombin laki



Sähköisesti varatut kappaleet kohdistavat toisiinsa voiman.



Coulombin lain mukaan sähköinen voima on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.

Coulombin laki

- Hiukkaset, joiden sähkövaraukset ovat Q_1 ja Q_2 , kohdistavat toisiinsa sähköisen voiman $\vec{F}$, jonka suuruus on suoraan verrannollinen sähkövarausten tuloon ja kääntäen verrannollinen hiukkasten välisen etäisyyden neliöön.
- Coulombin voiman suuruus on

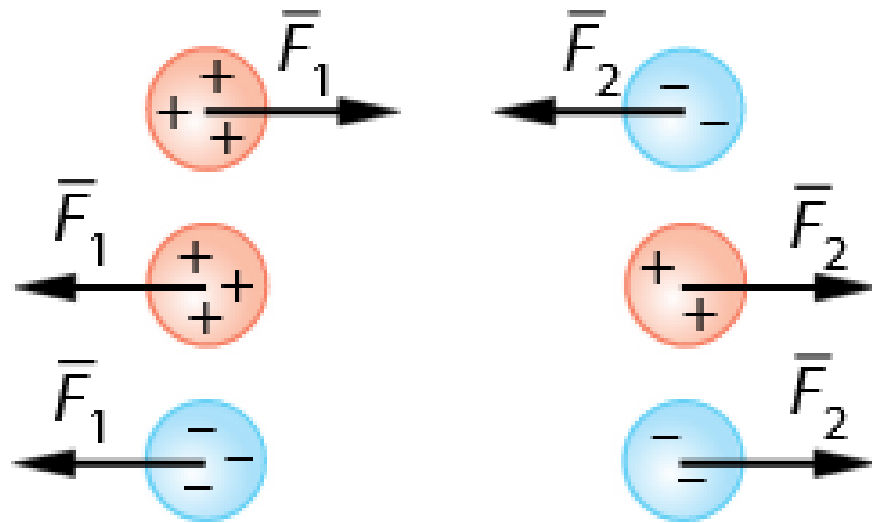
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2},$$

jossa r on hiukkasten välinen etäisyys, ϵ_0 sähkövakio eli tyhjiön permittiivisyys, ja k Coulombin lain vakio.

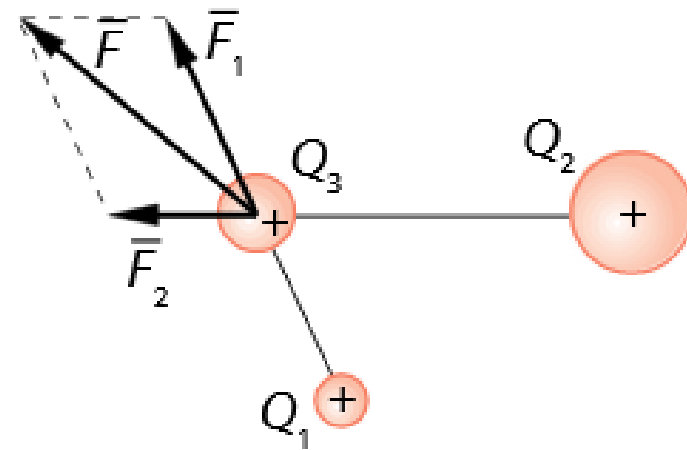
Sähkövaktion arvo on $\epsilon_0 = 8,854\,187\,818 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$ ja

Coulombin lain vakio $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,987\,551\,787 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$.

Sähköinen voima



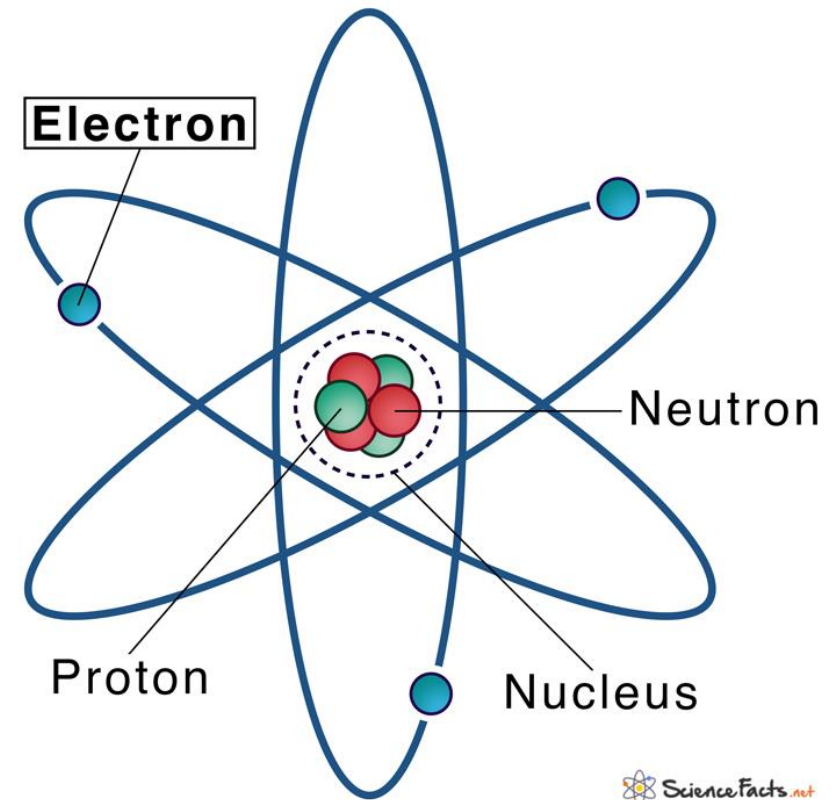
Newtonin III laki: $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$.



Voima $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ on sähkövarausten Q_1 ja Q_2 varaukseen Q_3 kohdistama sähköinen kokonaisvoima.

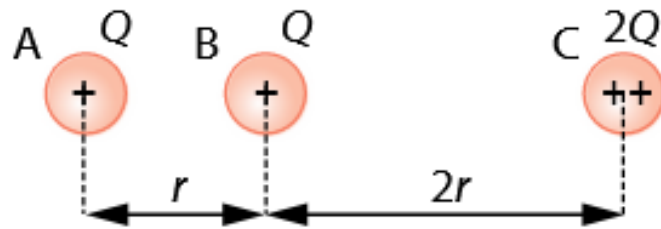
Esimerkki 1

Laske kahden elektronin välinen hylkimisvoima, kun niiden etäisyys on 150 femtometriä.



Esimerkki 2

Kolme varattua palloa A, B ja C ovat samalla suoralla kuvan mukaisesti.



Laske palloon B kohdistuva sähköinen kokonaisvoima, kun $r = 11 \text{ cm}$ ja $Q = 1,2 \text{ }\mu\text{C}$.

Esimerkki 3

ESIMERKKI 3

Kokonaisvoiman laskeminen

Origossa on hiukkanen A, jonka sähkövaraus on $6,0 \text{ nC}$, pisteessä $(4, 0)$ hiukkanen B, jonka varaus on $-9,0 \text{ nC}$ ja pisteessä $(0, 2)$ hiukkanen C, jonka varaus on $-5,0 \text{ nC}$. Laske origossa olevaan hiukkaseen A kohdistuva kokonaisvoima. Koordinaatiston pituusyksikkö on $1,0 \text{ cm}$.

Esimerkki 4

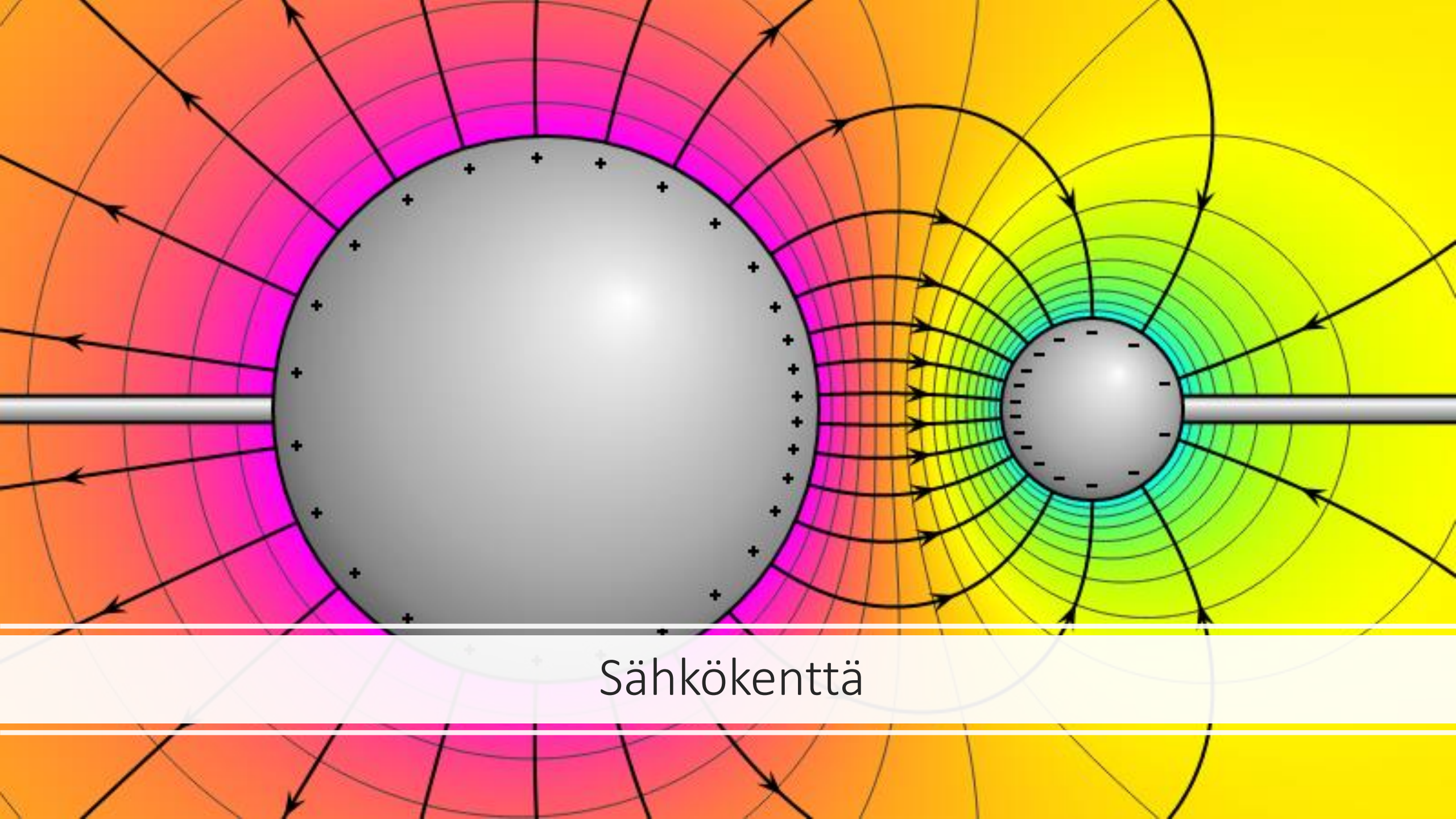
ESIMERKKI 4

Kuulan sähkövarauksen laskeminen

Kaksi varattua metallikuulaa on ripustettu kattoon samasta pisteestä yhtä pitkien eristelankojen avulla. Kuulilla on sama varaus, ja kummankin massa on 8,5 g. Lankojen pituus on 0,20 m.

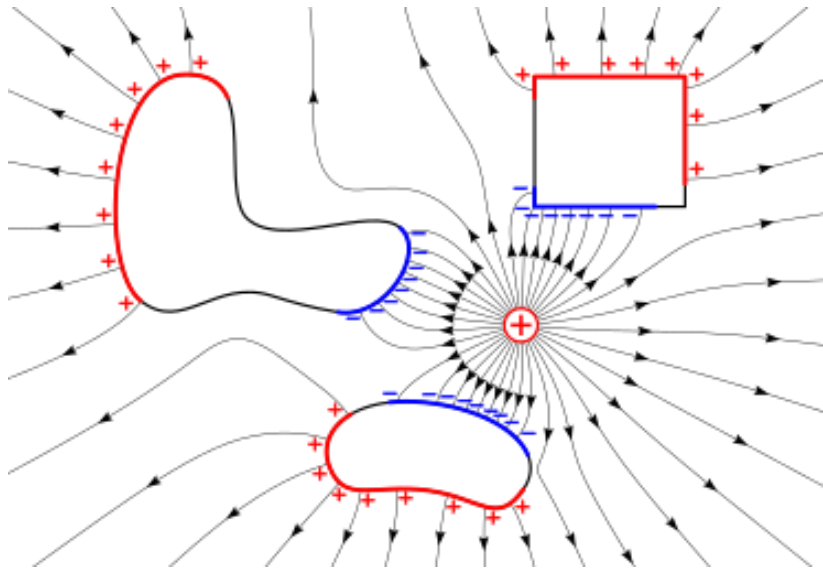
- a) Määritä kuulien varaus, kun kuulien välinen tasapainoetäisyys on 4,2 cm. (4 p.)
- b) Toisen kuulan varaus poistetaan. Miten kuulat liikkuvat tämän jälkeen? Mitä kuulien varauksille tapahtuu? (2 p.) [S2016/7]

Tehtäviä

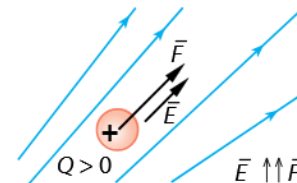
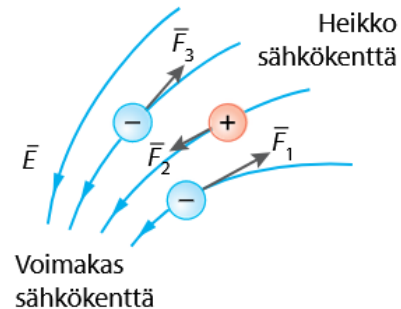


Sähkökenttä

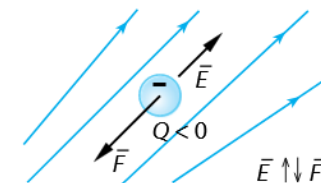
Varattu kappale muodostaa sähkökentän



- Sähkökentän jokaisessa pisteessä varautuneeseen hiukkaseen vaikuttaa sähköinen voima.
- Sähkökenttää mallinnetaan kenttäviivoilla.
- Sähkökentän suunta on $+$ $\rightarrow$ $-$



Sähkökentän voimakkuuden suunta on sama kuin sähkökentässä olevaan positiivisesti varattuun hiukkaseen kohdistuvan voiman suunta.



Jos sähkövaraus Q on negatiivinen, hiukkaseen vaikuttavan sähköisen voiman suunta on vastakkainen sähkökentän voimakkuuden suunnalle.

Sähkökentän voimakkuus

Sähkökentän voimakkuus

- Sähkökentän voimakkuus $\vec{E}$ on kentässä olevaan varattuun hiukkaseen kohdistuvan sähköisen voiman ja sähkövarauksen suhde: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$.
- Sähkökentän voimakkuuden yksikkö on newton/coulombi (N/C).
- Sähkökentän voimakkuuden suunta on sama kuin sähkökentässä olevaan positiivisesti varattuun hiukkaseen kohdistuvan sähköisen voiman suunta.

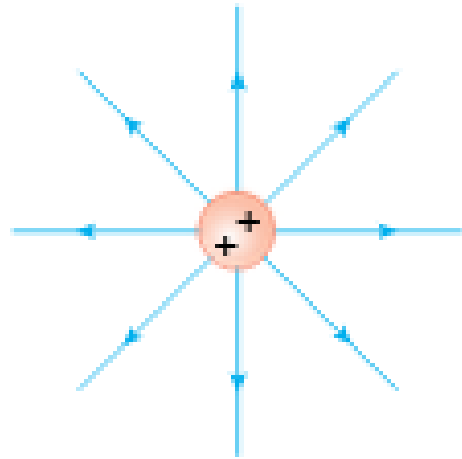
ESIMERKKI 1 **Elektroniin vaikuttava sähköinen voima**

Elektroni on tyhjiöputkessa, jossa sähkökentän voimakkuus on 85 kN/C.

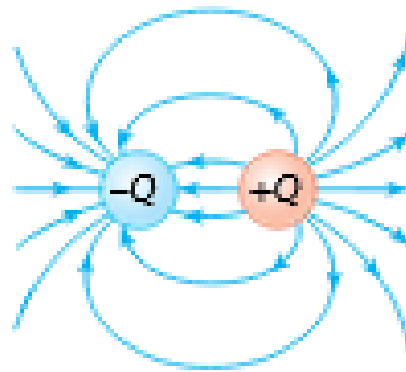
Vertaa elektroniin kohdistuvan sähköisen voiman suuruutta elektroniin kohdistuvaan painoon.

Tutkimus 1

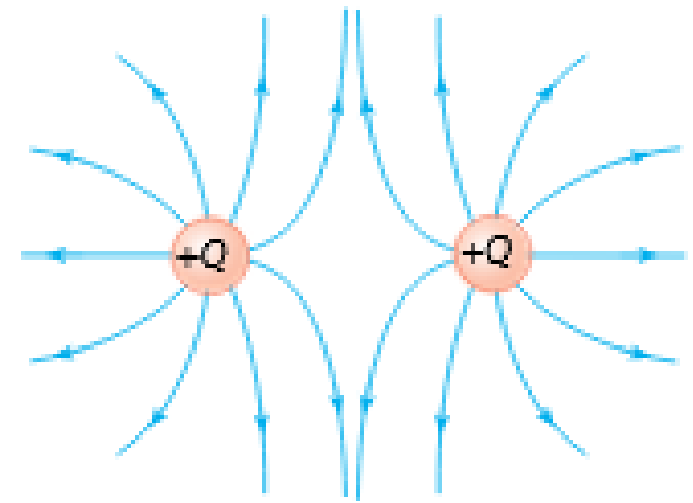
Havainnollistetaan sähkökenttä Van de Graaf generaattorilla



Positiivisesti varatun pistevarauksen aiheuttaman sähkökentän kenttäviivat.

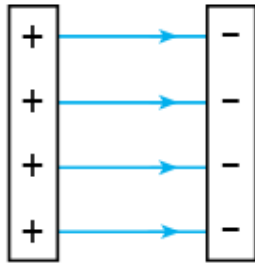
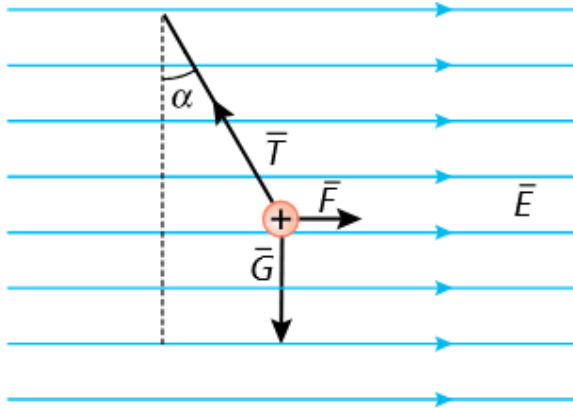


Kahden erimerkkisesti varatun pistevarauksen sähkökentän kenttäviivat.



Kahden samanmerkkisesti varatun pistevarauksen sähkökentän kenttäviivat.

Sähkökentön voimakkuus



Homogeenisen sähkökentän graafinen malli.

Homogeeninen sähkökenttä

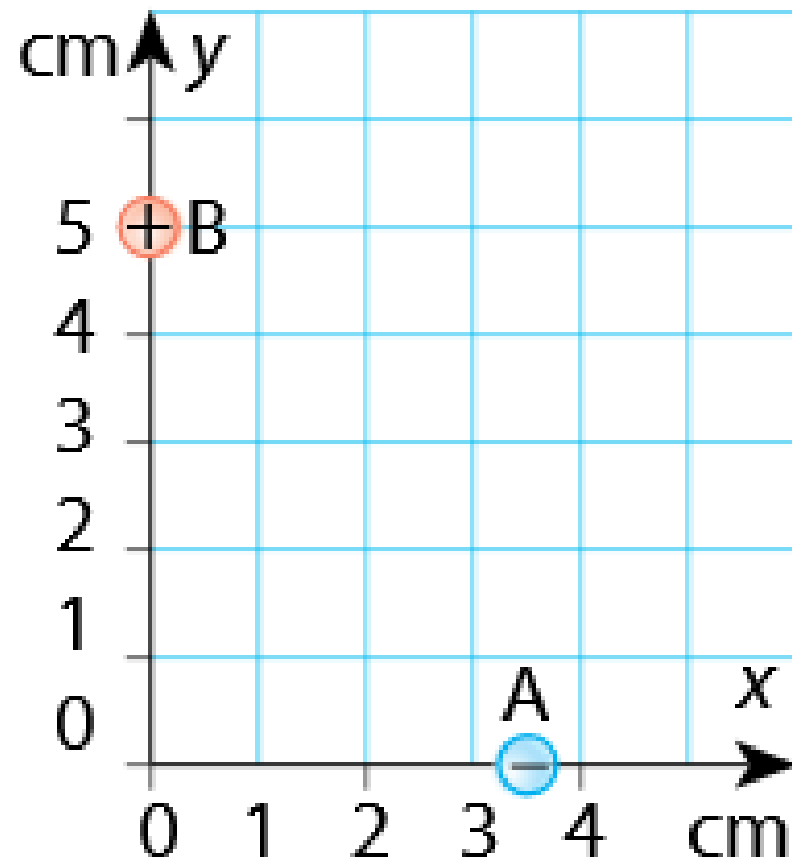
Homogeenisessa sähkökentässä sähkökentän voimakkuuden $\vec{E}$ suuruus ja suunta ovat kaikkialla kentässä samat.

Pistemäisen varatun kappaleen sähkökenttä

- Pistevarauksen Q sähkökentän voimakkuuden $\vec{E}$ suuruus etäisyydellä r varauksesta on $E = k \frac{Q}{r^2}$, jossa k on Coulombin lain vakio.
- Sähkökentän voimakkuuden $\vec{E}$ suunta on varauksesta poispäin, jos Q on positiivinen, ja kohti varausta, jos Q on negatiivinen.

ESIMERKKI 3

Pisteessä $(3,5 \text{ cm}; 0,0 \text{ cm})$ on kappale A, jonka sähkövaraus on $-4,8 \text{ nC}$, ja pisteessä $(0,0 \text{ cm}; 5,0 \text{ cm})$ kappale B, jonka varaus on $7,3 \text{ nC}$. Kappaleet ovat pistemäiset. Mallinnetaan tilannetta graafisesti koordinaatiston avulla. Laske kappaleiden aiheuttaman sähkökentän voimakkuus origossa.



Tehtäviä

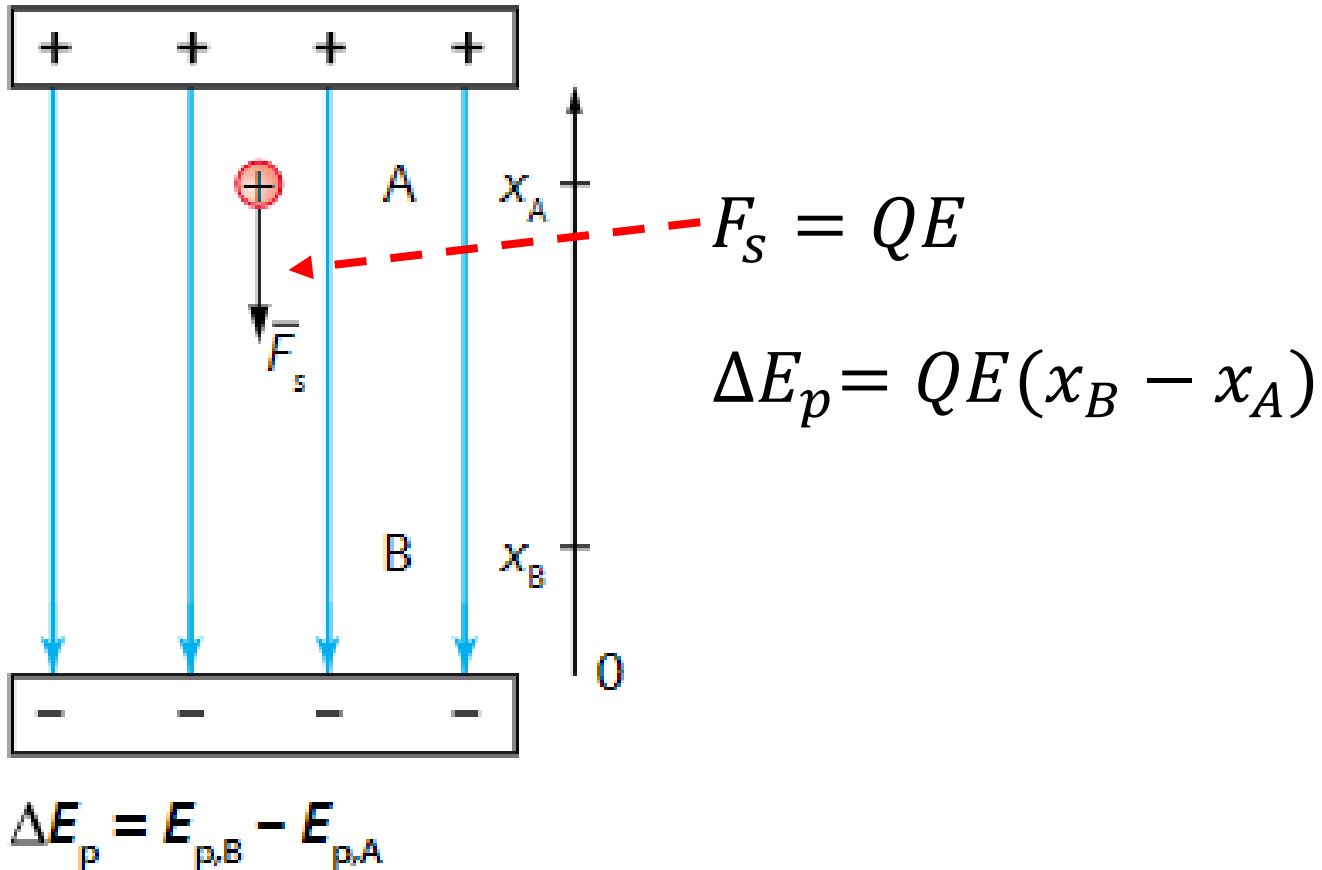
- 3-6
- 3-7
- 3-8
- 3-10
- 3-12
- 3-14
- 3-16

UNLEASH **POTENTIAL**



Sähkökentän potentiaali

Potentiaalienergia sähkökentässä

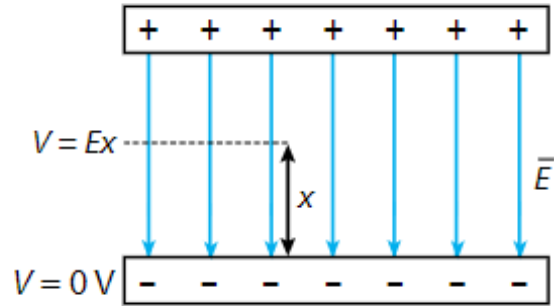


HUOM! FY4:

$$G = mg$$

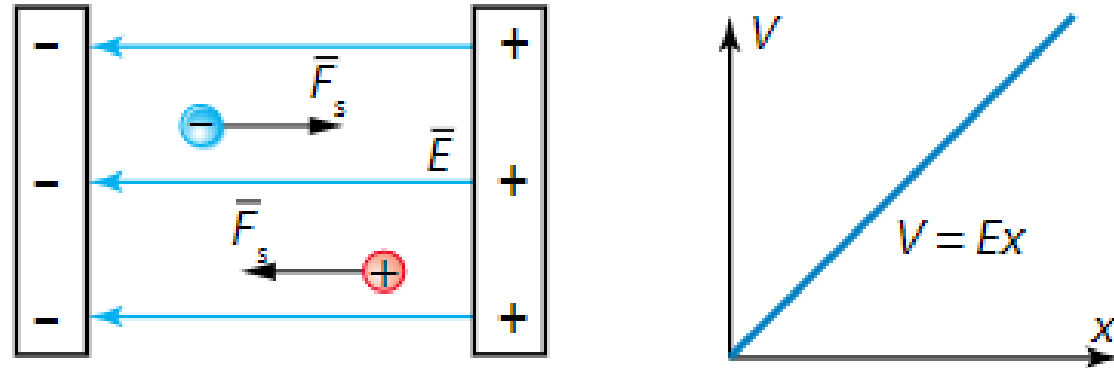
$$\Delta E_p = mg(h_2 - h_1)$$

Homogeenisen sähkökentän potentiaali



Homogeenisen sähkökentän $\vec{E}$ potentiaali V riippuu potentiaalin nollassoon mitatusta etäisyydestä x . Usein negatiivisesti varattu levy valitaan potentiaalin nollassoksi ja sen potentiaali on tällöin 0 V.

$$V = \frac{E_p}{Q}$$



Homogeenisessa sähkökentässä sähkökentän voimakkuus $\vec{E}$ on vakio, ja potentiaali kasvaa, kun liikutaan kentän suuntaa vastaan.

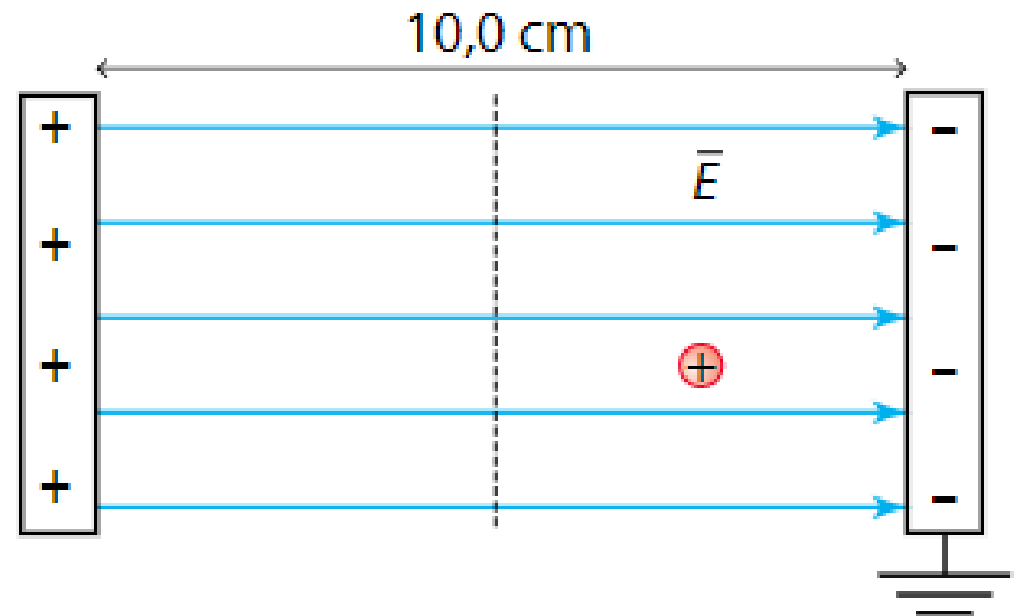
Homogeenisessa sähkökentässä $V = Ex$

HUOM! $[V] = V$

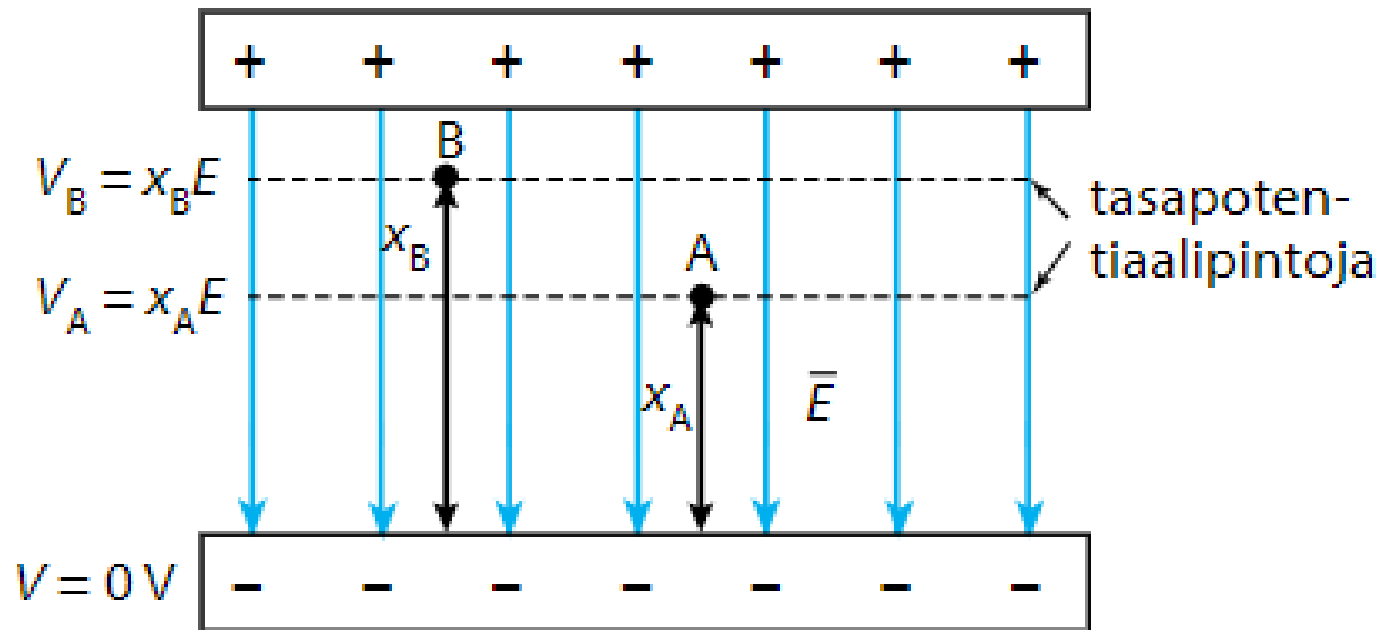
ESIMERKKI 1 Potentiaalieron ja potentiaalin laskeminen

Kahden yhdensuuntaisen johdelevyn välissä on homogeeninen sähkökenttä. Levyjen välimatka on 10,0 cm ja sähkökentän voimakkuuden suuruus E on kaikkialla sähkökentässä 5,00 kV/m.

- a) Mikä on levyjen potentiaaliero?
- b) Kuinka suuri sähköinen voima vaikuttaa protoniin, joka on 2,0 cm etäisyydellä negatiivisesti varatusta levystä?



Potentiaali on vakio tasopotentiaalipinnalla

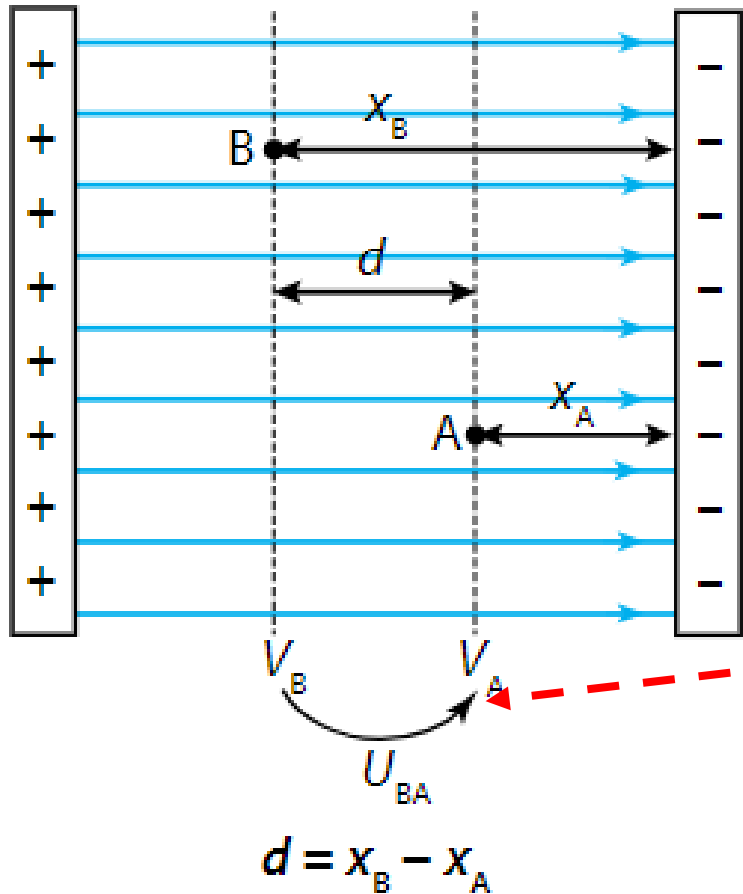


Jokaisella tasapotentiaalipinnan pisteellä on sama potentiaali.



Suunnistuskartan korkeuskäyrät mallintavat gravitaatiokentän tasopotentiaalipintoja.

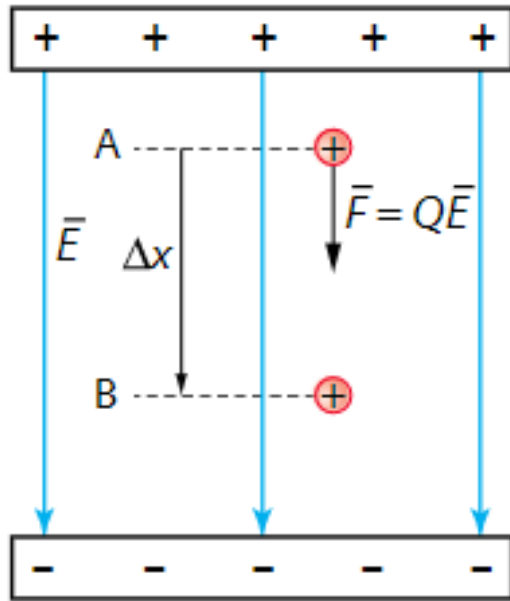
Jännite on kahden potentiaalin välinen ero



$$U = E(x_B - x_A) = Ed$$

Pisteiden välistä potentiaaliero
sanotaan jännitteeksi!

Sähkökentän tekemä työ



$$W = QU$$

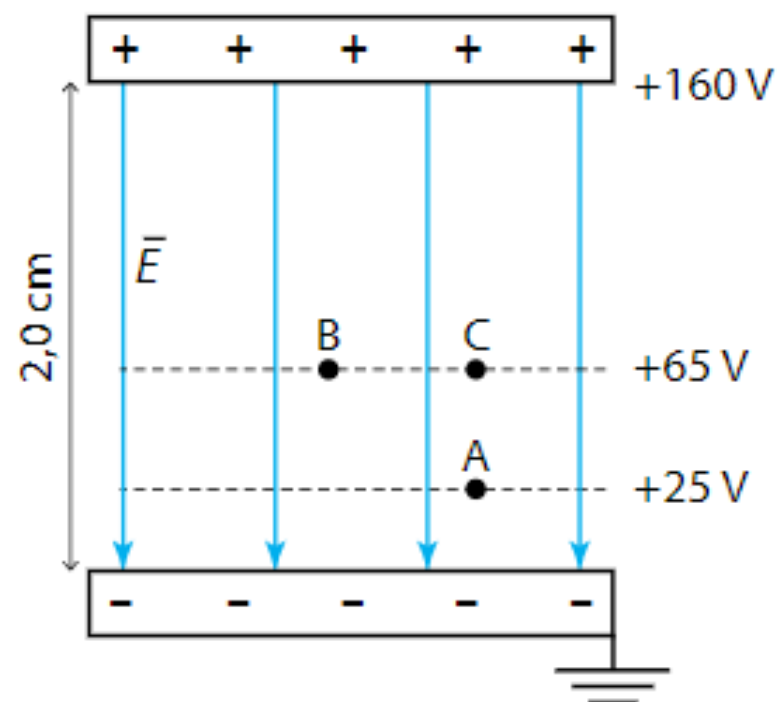
Pisteiden A ja B välinen jännite on sähkökentän tekemä työ varausyksikköä kohti.

ESIMERKKI 2

Jännitteen ja työn laskeminen

Kahden tyhjiössä olevan yhdensuuntaisen metallilevyn välillä on homogeeninen sähkökenttä. Toisen levyn potentiaali on $+160\text{ V}$, ja toinen levy on maadoitettu. Kentän potentiaalit pisteissä A, B ja C ovat $+25\text{ V}$, $+65\text{ V}$ ja $+65\text{ V}$. Levyjen välimatka on $2,0\text{ cm}$.

- Laske metallilevyjen välissä olevan sähkökentän voimakkuus.
- Laske kentän pisteiden B ja A välinen jännite.
- Laske sähköisen voiman tekemä työ, kun hiukkanen siirtyy pisteestä A pisteeseen C. Miksi vastaava työ on nolla, kun hiukkanen siirtyy edelleen pisteestä C pisteeseen B? Hiukkasen varaus on $2,5\text{ nC}$.
- Laske sähköisen voiman tekemä työ, kun hiukkanen siirtyy pisteestä A pisteeseen C. Hiukkasen varaus on $-7,5\text{ nC}$.



Tehtäviä

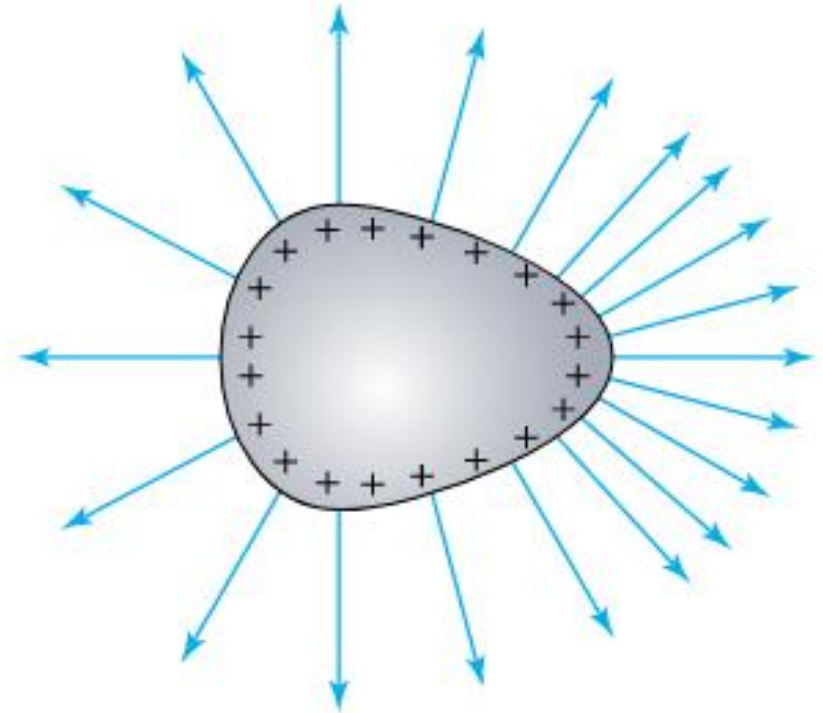
- 4-5
- 4-8
- 4-9
- 4-10
- 4-13

A photograph of a lightning demonstration in a museum. A person is inside a wire mesh cage (Faraday cage) which is being struck by multiple bright lightning bolts. To the left, a large Van de Graaff generator is visible. In the background, a crowd of people is watching the demonstration. An "EXIT" sign is visible on the wall to the left.

Sähkökenttä vaikuttaa
aineeseen

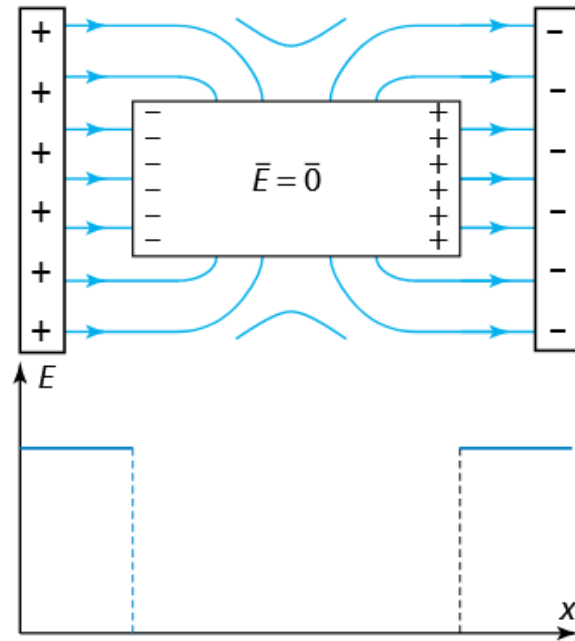
Faradayn häkki

- Johdekappaleen sisällä sähkökentän voimakkuus on nolla!
- Varatun johdekappaleen varaukset kertyvät sen ulkopinnalle ja erityisesti kärkiin.

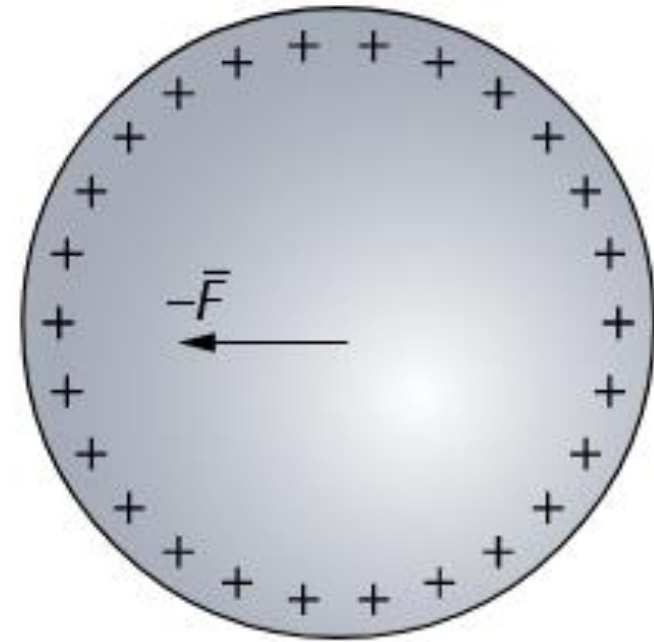
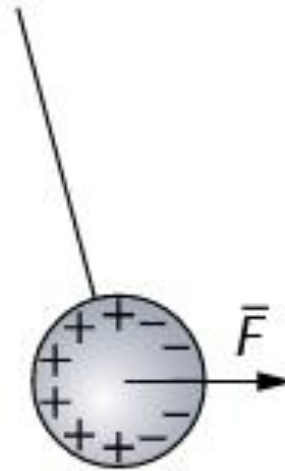


Varatun johdekappaleen varaukset ovat sen pinnalla.

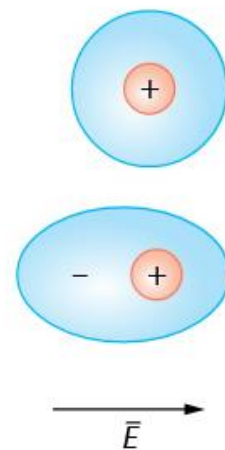
Influenssi



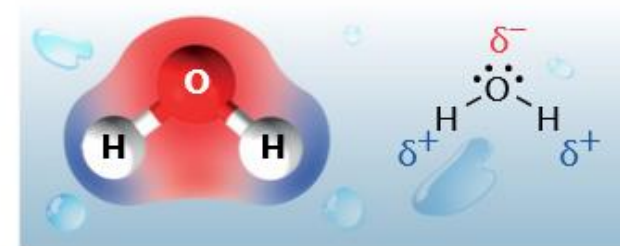
Johdekappaleen sisällä sähkökentän voimakkuus on nolla riippumatta siitä, onko kappale umpinainen vai ontto. Huomaa sähkökentän kenttäviivojen kaartuminen.



Polarisoituminen



Atomin polarisoituminen ulkoisessa sähkökentässä.



Vesimolekyyli.

Sähköinen polarisoituminen

Sähkökenttä voi aiheuttaa eristeaineessa sähköisen polarisoitumisen eli molekyylin sisäisen varauksen jakautumisen.

ESIMERKKI 1

Johdepallo ja eristekappale homogeenisessa sähkökentässä

- a) Mitä tapahtuu, kun 1) johdepallo 2) eristekappale viedään homogeeniseen sähkökenttään? Havainnollista kumpaakin tapausta kuvion avulla. (4 p)

ESIMERKKI 2

Ilmapallo seinällä

Kun hankaat täyttä ilmapalloa vaatteisiisi ja asetat sen sitten seinää vasten, huomaat sen tarttuvan seinään.

4.1 Mitä ilmapallolle tapahtuu, kun sitä hangataan vaatteisiin? 3 p.

4.2 Selitä, miksi ilmapallo tarttuu seinään ja pysyy siinä paikallaan.

Piirrä selityksesi tueksi kuvaan 4.A ilmapalloon vaikuttavien voimien voimavektorit ja nimeä voimat. 8 p.

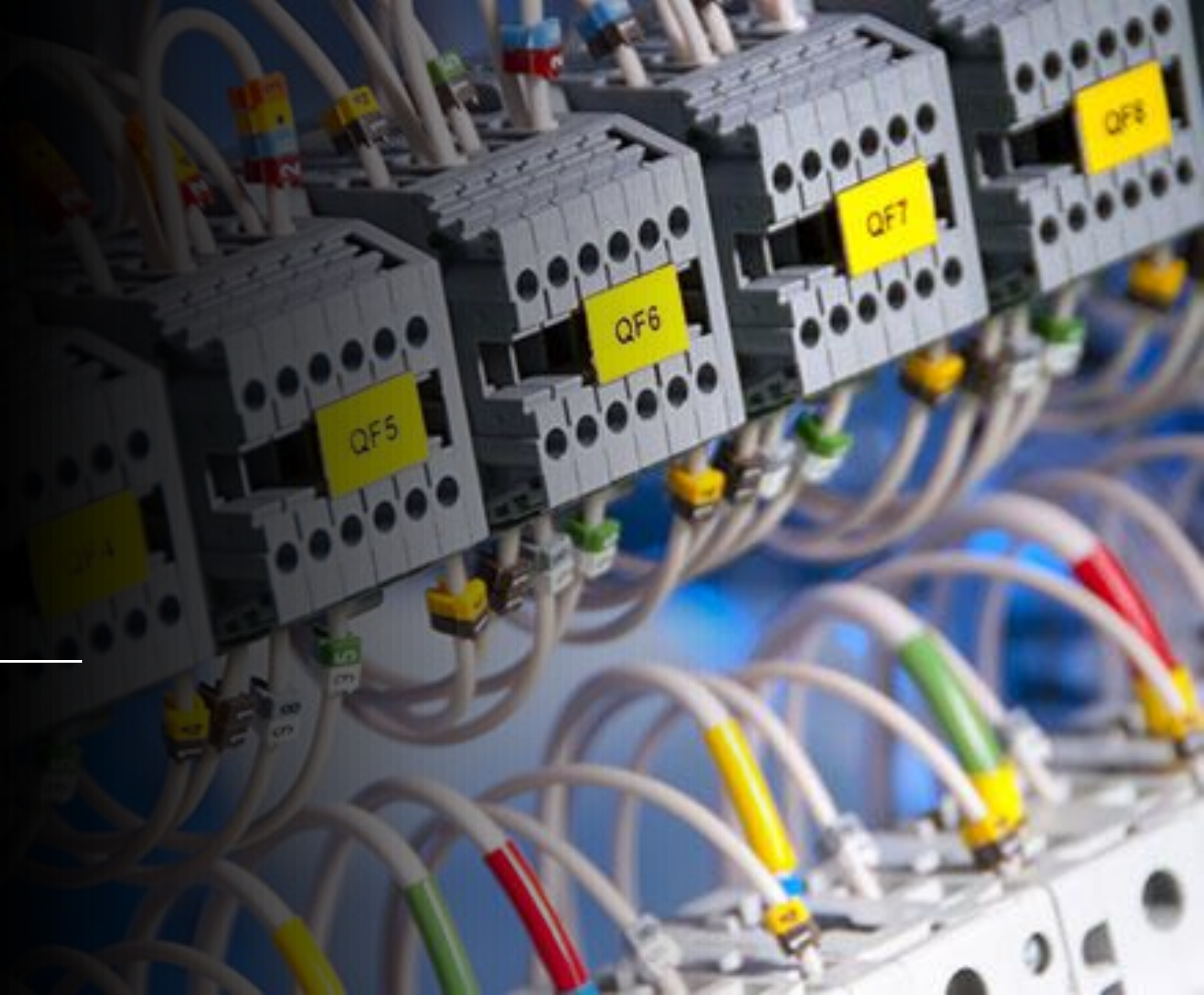
4.3 Miksi ilmapallo alkaa jonkin ajan kuluttua laskeutua seinää pitkin alas? 4 p. [S2021/4]

Tehtäviä

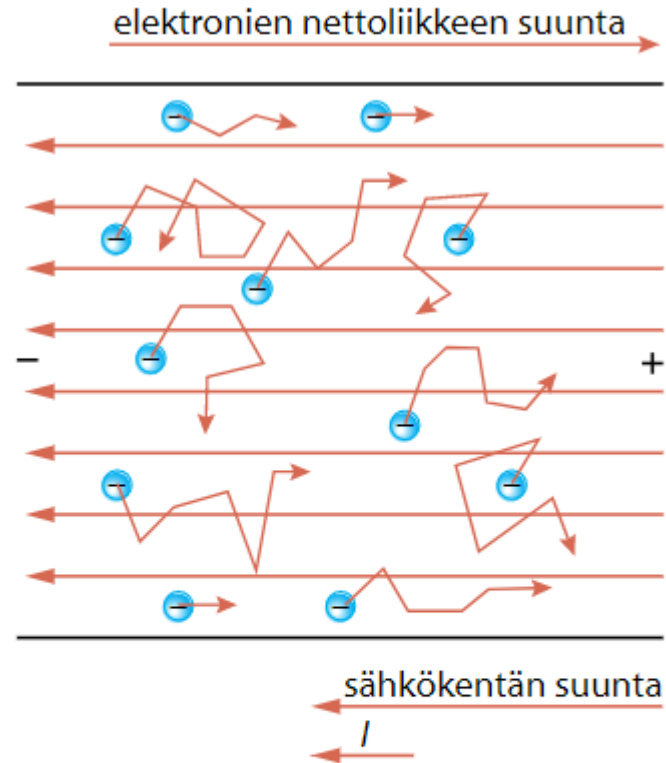
- 5-5
- 5-6
- 5-8
- 5-9
- 5-10
- 5-11
- 5-12
- 5-13



Virtapiiri



Sähkövirta



Sähkövirta metallijohtimessa on sähkökentän aiheuttamaa elektronien liikettä. Jotta saadaan aikaan jatkuva sähkövirta, johtimen päiden välille tarvitaan jännite.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

I = Sähkövirta

ΔQ = Johtimen poikkipinnan läpi kulkenut varaus

Δt = Ajan muutos

$[I]$ = Ampeeri (A)

- Sähkövirta saa aikaan erilaisia vaikutuksia:
 - Lämpövaikutus
 - Kemiallinen vaikutus
 - Magneettinen vaikutus
 - Säteilövaikutus



Aineet johtavat eritavalla sähköä

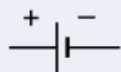
Johteet

Eristeet

Puolijohteet

KytKentäkaavio

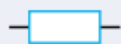
Komponenttien piirrosmerkkejä



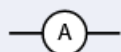
Tasajännitelähde



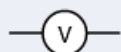
Lamppu



Vastus



Virtamittari



Jännitemittari



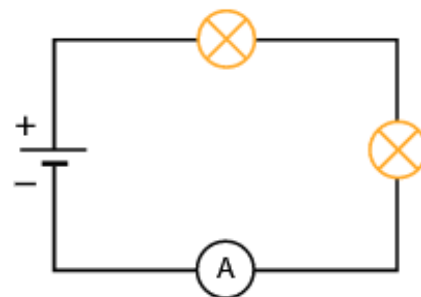
Katkaisija tai kytkin



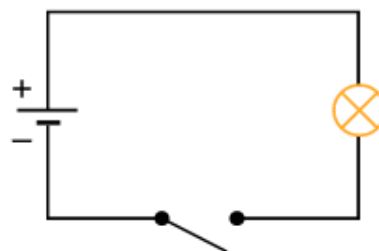
Tasavirran piirrosmerkki



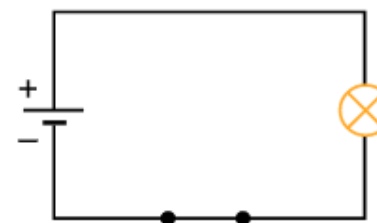
Vaihtovirran piirrosmerkki



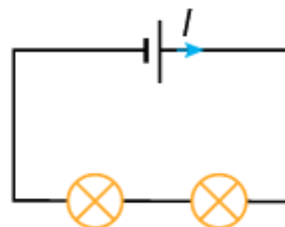
Virtapiirin mallintaminen
kytkentäkaaviolla.



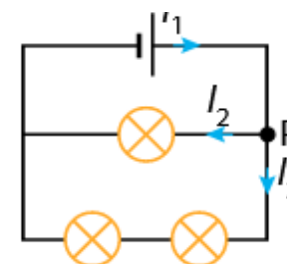
Avoim virtapiiri.
Avoimessa virtapiirissä
ei kulje sähkövirta.



Suljettu virtapiiri.
Virtapiiri suljetaan
katkaisijalla.



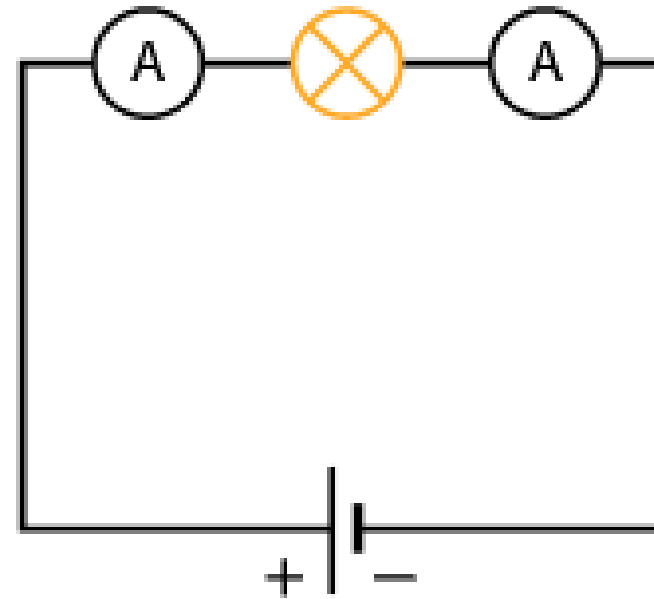
Virtapiiri on haaraumaton, kun
kummankin lampun läpi kulkee yhtä
suuri sähkövirta.



Haarautuvassa virtapiirissä sähkövirta
 I_1 jakautuu haarautumispisteessä P
kahdeksi sähkövirraksi I_2 ja I_3 .

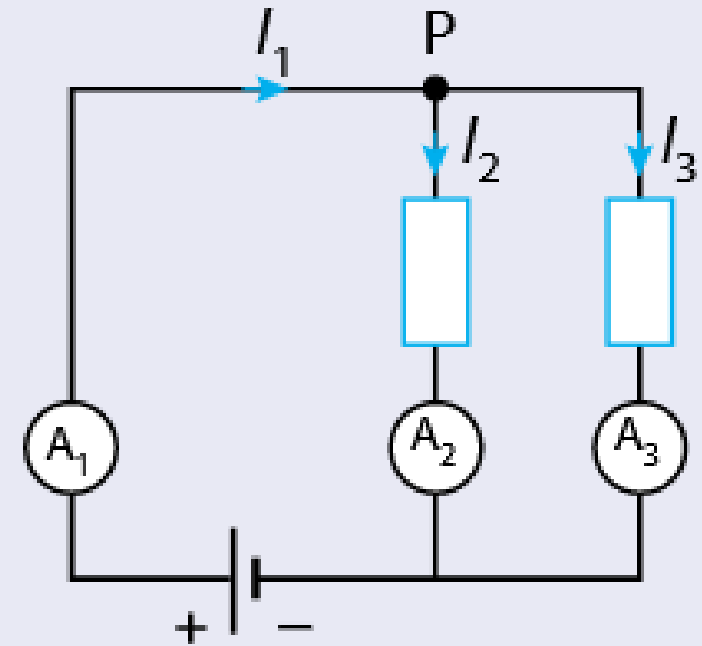
Tutkimus 1

Rakenna seuraavanlainen virtapiiri ja mittaa johtimessa kulkeva virta ennen ja jälkeen lampun.

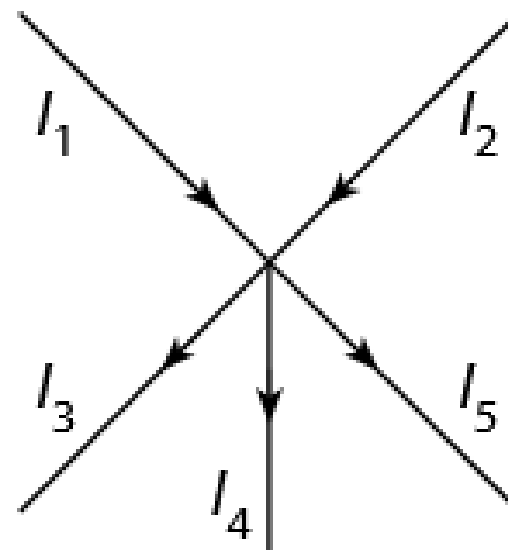


Tutkimus 2

- Rakenna oheinen virtapiiri ja mittaa johtimissa kulkevat virrat neljällä eri jännitteen arvolla.
 - Taulukoi tulokset
 - Mitä huomaat?



Kirschoffin I laki

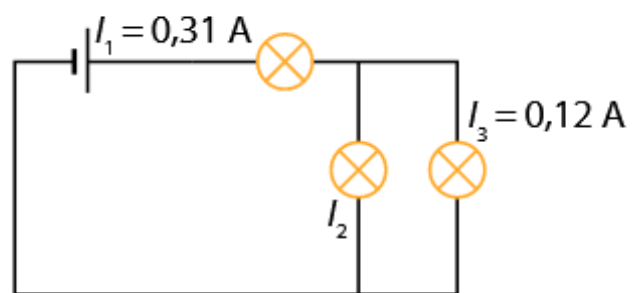


Kirchhoffin I lain mukaan on

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5.$$

Kirchhoffin I laki

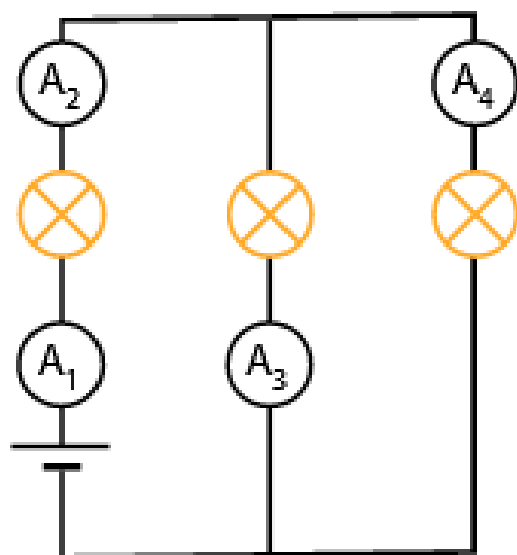
Virtapiirin kuhunkin pisteeseen tulevien sähkövirtojen summa on yhtä suuri kuin siitä lähtevien sähkövirtojen summa.



ESIMERKKI 2

Haarautuvan virtapiirin sähkövirrat

Kuvan kytkennän lamput eivät ole samanlaiset. Kuinka suuri on sähkövirta I_2 ?



ESIMERKKI 3

Haarautuvan virtapiirin sähkövirrat

Kuvan kytkennässä lamput ovat samanlaiset. Virtamittarin A_3 lukema on 85 mA. Päätele virtapiirissä olevien muiden virtamittareiden lukemat.

Tehtäviä:

- 6-5
- 6-7
- 6-8
- 6-12
- 6-13
- 6-15
- 6-16



Kirchhoffin II laki



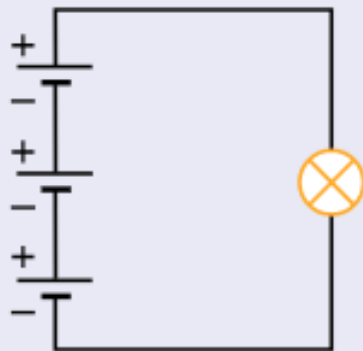
Tutkimus 1

PARISTOKYTKENNÄN JÄNNITE

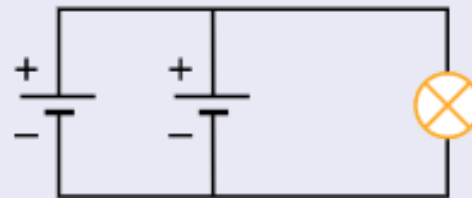


Käytä tutkimuksessa samanlaisia paristoja.

1. Tutki sarjaan kytkettyjen paristojen vaikutusta lampun kirkkauteen.



2. Kytke kaksi paristoa rinnan. Lisää paristoja yksi kerrallaan rinnankytkentään ja havainnoi lampun kirkkautta.



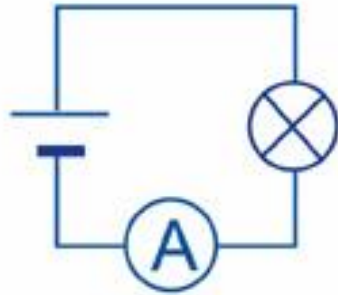
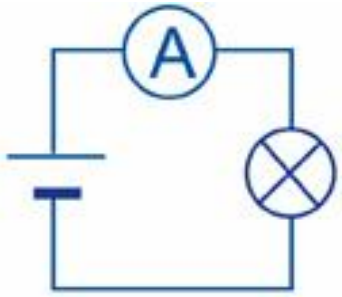


Tasajännitelähde

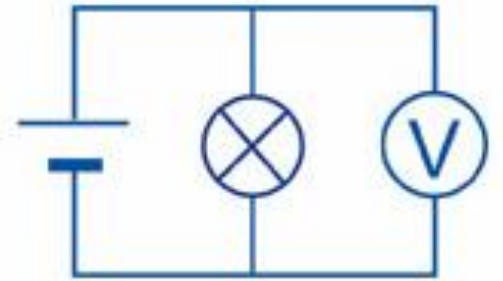
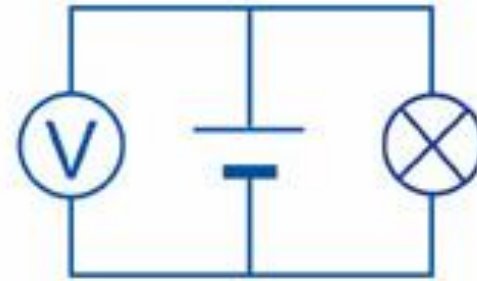
- Tasajännitelähde tuottaa ainoastaan tasavirtaa
 - Jännitelähteen toiseen napaan syntyy kemiallisen reaktion johdosta elektronien ylimäärän (miinus-napa). Toiseen napaan syntyy elektronien vaje (plus-napa)
- Tasajännitelähteitä ovat
 - Paristo
 - Akku
 - Aurinkokenno
- Kuormitetun jännitelähteen napojen välistä jännitettä kutsutaan napajännitteeksi

Jännitemittari kytketään rinnan

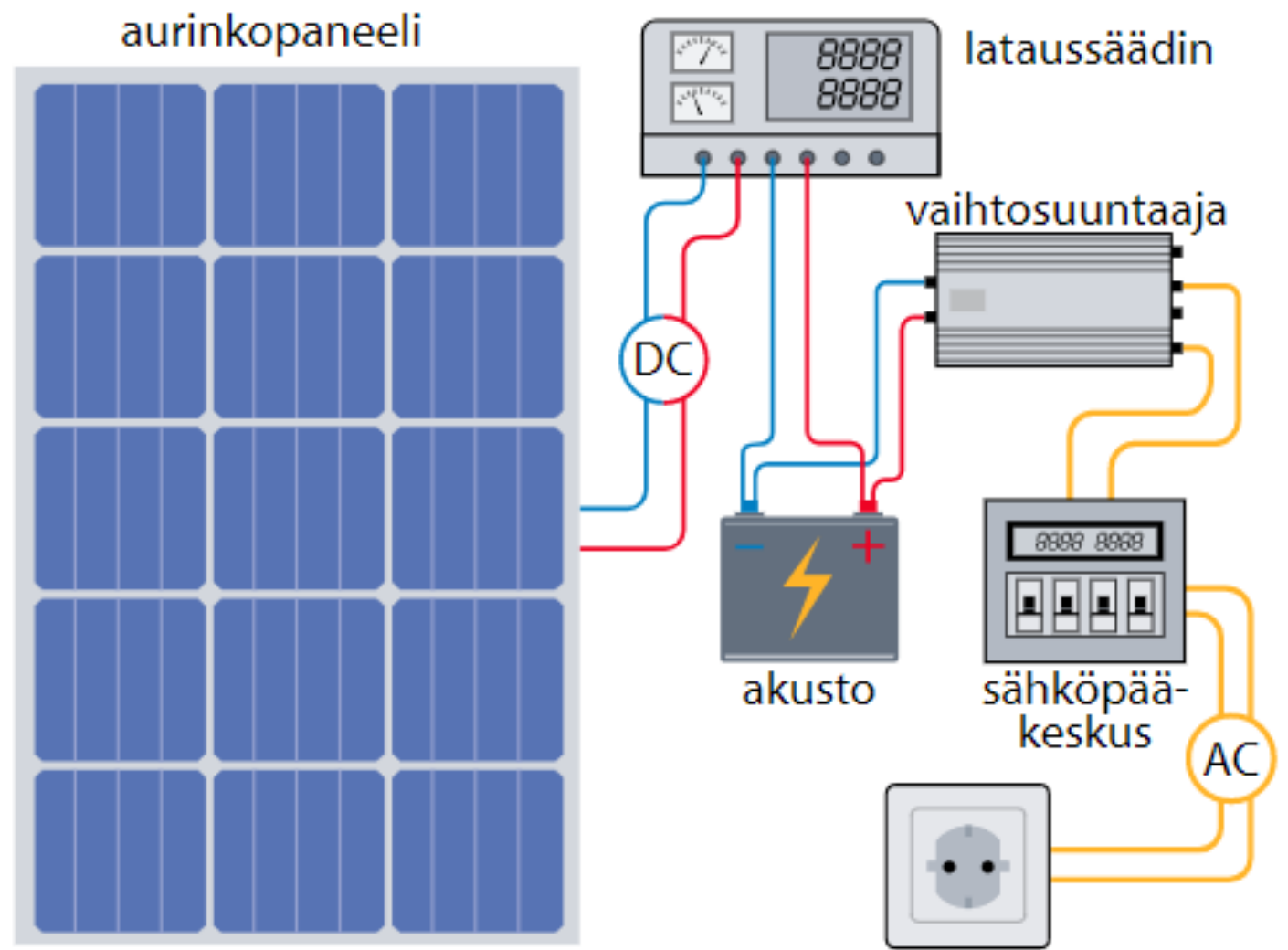
Virtamittari



Jännitemittari



Aurinkopaneelien
energia voidaan
varastoida

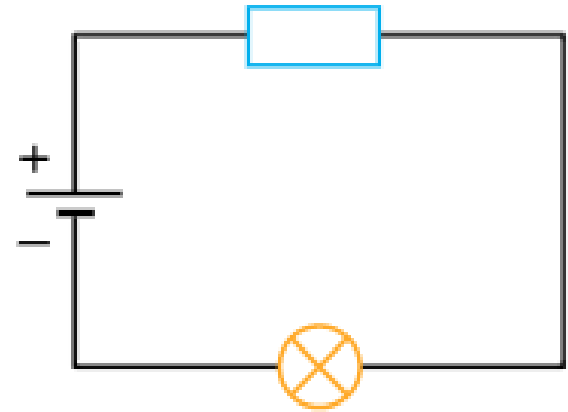


ESIMERKKI 1

Jännitteen mittaaminen

Täydennä kytkentäkaavio siten, että mittari mittaa vastuksen jännitehäviön ja lampun läpi kulkevan sähkövirran.

Ratkaisu



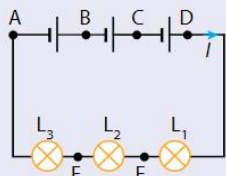
Tutkimus 2

Mittaa jännitemittarilla pisteiden B, C, D, E ja F ja pariston negatiivisen navan A (vertailupiste) väliset jännitteet. Jos käytössäsi ei ole tutkimukseen soveltuvia välineitä, katso tutkimus videolta.

VIRTAPIIRIN POTENTIAALI JA KIRCHHOFFIN II LAKI



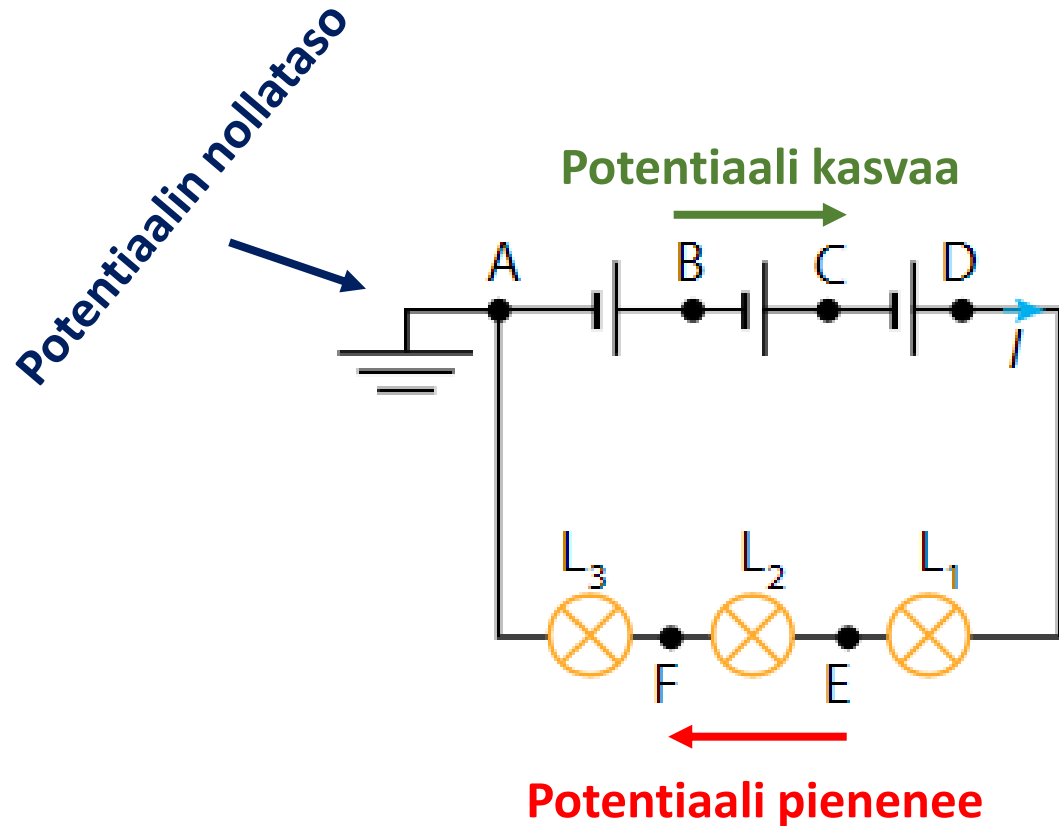
Tee kuvan kytkentä. Käytä 1,5 V:n paristoja ja keskenään samanlaisia lampuja.



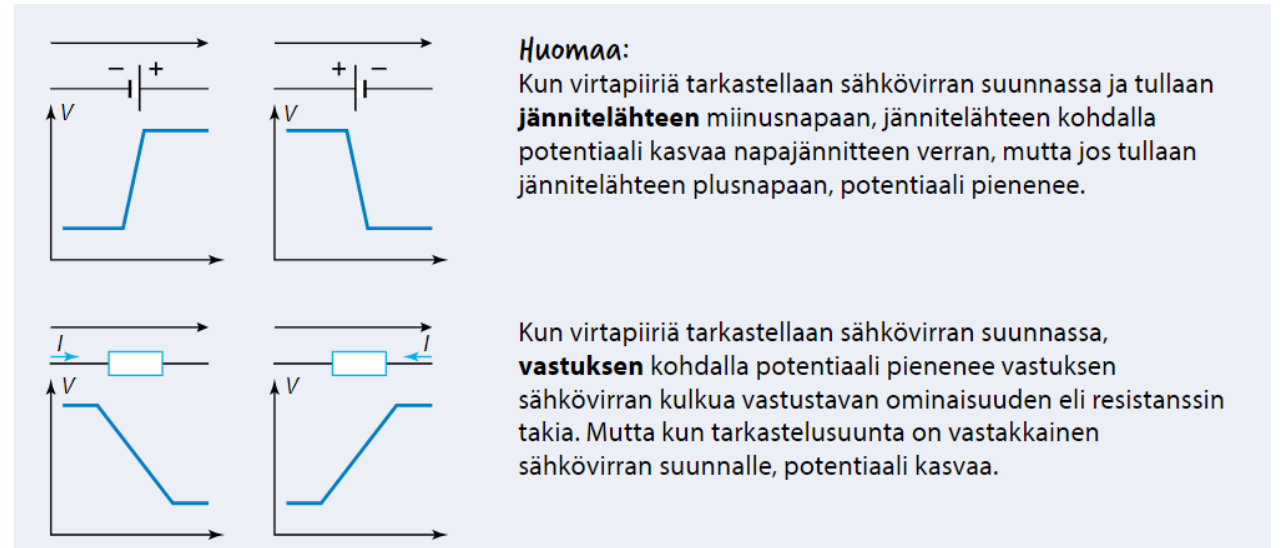
Taulukoi tulokset!

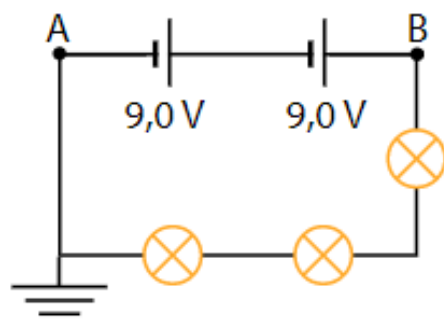
Väli	Jännite
BA	$U_{BA} = 1,52 \text{ V}$
CA	$U_{CA} = 3,04 \text{ V}$
DA	$U_{DA} = 4,57 \text{ V}$
EA	$U_{EA} = 3,11 \text{ V}$
FA	$U_{FA} = 1,42 \text{ V}$

Virtapiirin potentiaali ja jännite



Kirchhoff II:
Suljetussa virtapiirissä potentiaalimuutosten summa on nolla





ESIMERKKI 2

Potentiaali ja jännite virtapiirissä

Kytkenän lamput ovat samanlaiset.

- a) Mikä on pisteen B potentiaali?
- b) Mikä on yhden lampun jännitehäviö?
- c) Mikä on pisteiden B ja A välinen jännite?
- d) Jos yksi lampuista menee rikki, valaisevatko muut lamput?

ESIMERKKI 3

Kirchhoffin II lain soveltaminen

Kuvan kytkennässä jokaisen pariston jännite on 1,5 V. Välillä BCDA on homogeeninen paksu vastuslanka. Potentiaalin nollassoksi on valittu piste A. Piirrä virtapiirin potentiaalikäyrä.

Tehtäviä

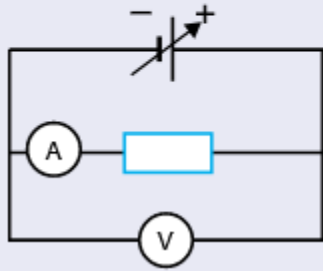
- 7-6
- 7-7
- 7-9
- 7-10
- 7-12
- 7-13
- 7-16



Resistanssi



Tutkimus 1



VASTUKSEN JÄNNITEHÄVIÖN JA SEN LÄPI KULKEVAN SÄHKÖVIRRRAN SUHDE



Tutki vastuksen jännitehäviön riippuvuutta sen läpi kulkevasta sähkövirrasta kuvan kytkentää käyttäen. Säädä virtapiirin jännitettä, ja taulukoi virtamittarin ja jännitemittarin lukemat. Laske mitatun jännitehäviön ja sähkövirran suhde.

$I \text{ (A)}$	$U \text{ (V)}$	$\frac{U}{I} \left(\frac{\text{V}}{\text{A}} \right)$
0,040	0,917	22,925
0,088	2,003	22,761
0,137	3,092	22,569
0,177	3,990	22,542

Resistanssi kuvaa komponentin kykyä vastustaa sähkövirtaa

$$R = \frac{U}{I}$$

R = Resistanssi

U = Jännite

I = Sähkövirta

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{V}{A} = \Omega$$

Resistanssin yksikkö on ohmi!



Vastusmittarin piirrosmerkki.



Mittaa oma resistanssisi. Siihen vaikuttaa moni tekijä: esimerkiksi ihon resistanssi riippuu ihon kosteudesta.

ESIMERKKI 1

Ihmiselläkin on resistanssi

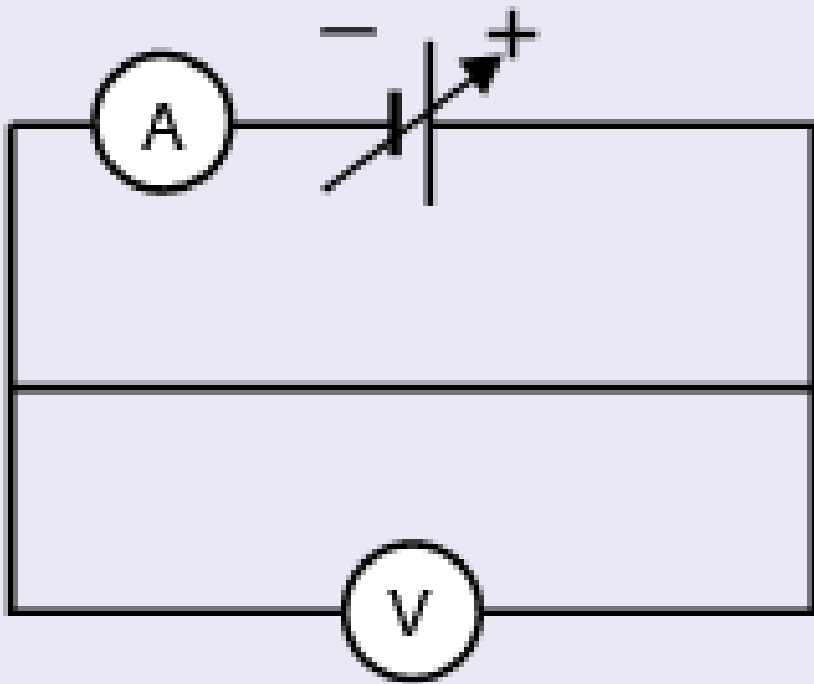
Ihmisen kehon läpi kulkevan sähkövirran suuruus määräytyy jännitteestä sekä ihon ja muun kehon yhteisestä resistanssista. Ihon resistanssi riippuu mm. ihon kosteudesta. Kun ihon resistanssia ei huomioida, kehon eri osista koostuva kokonaisresistanssi on käsien välillä noin 1,3 kΩ.

Emmi saa pienen sähköiskun 12 V valosarjasta. Kuinka suuri sähkövirta kulkee Emmen käsien välillä?

ESIMERKKI 2

Virtapiirissä olevan vastuksen resistanssi on $220\ \Omega$ ja sen läpi kulkeva sähkövirta $110\ \text{mA}$. Laske vastuksen päiden välinen jännitehäviö.

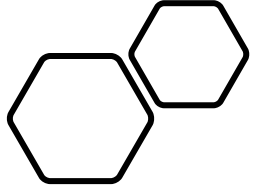
Tutkimus 2



OHMIN LAKI

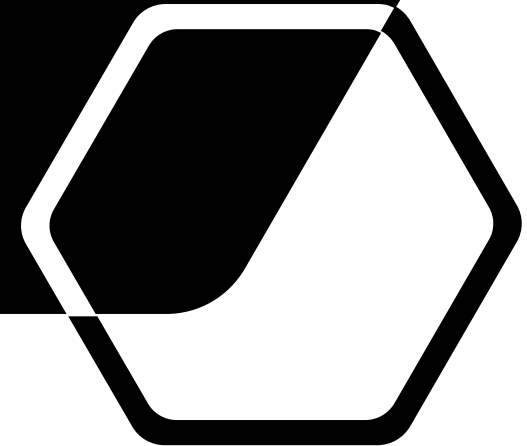
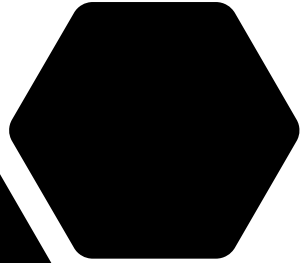
Kiinnitä metallilanka kahden eristetolpan väliin. Tutki langan jännitehäviön ja sähkövirran välistä riippuvuutta. Esitä mittaustulokset I, U -koordinaatistossa. Toista koe käyttäen erilaista lankaa. Jos käytössäsi ei ole tutkimuksessa tarvittavia välineitä, tee tutkimus videon avulla.

Mittausohjelmasta saadaan kuvaajat I, U -koordinaatistossa.



Ohmin laki

Kun metallilangan lämpötila ei
muutu siinä tapahtuva jännite häviö
on suoraan verrannollinen langassa
kulkevaan sähkövirtaan eli $U = RI$



$I \text{ (A)}$	$U \text{ (V)}$
0,25	0,1
0,5	0,2
0,75	0,31
1	0,43
1,25	0,6
1,5	0,77
1,75	1,06
2	1,49
2,25	2,04
2,5	2,65

ESIMERKKI 4

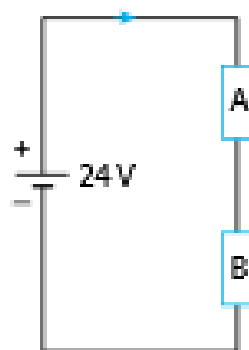
Ohmin lain voimassaolon tutkiminen

Säätövastuksen kanssa sarjaan kytketty polttimo yhdistettiin kuuden voltin akkupariston napoihin. Kun sopivia mittareita käyttäen tutkittiin polttimon jännitehäviötä sähkövirran funktiona, saatiin oheisen taulukon mukaiset tulokset.

- Piirrä kytkentäkaavio.
- Piirrä $U = U(I)$ -kuvaaja.
- Noudattaako polttimon hehkulanka Ohmin lakia?
Perustele saamasi tulos. [S2003/7]

ESIMERKKI 6

Kuvan virtapiirissä kulkeva sähkövirta on $0,40\text{ A}$ ja vastuksen B resistanssi $R_B = 35\ \Omega$.



- a) Laske vastuksen B jännitehäviö.
- b) Laske vastuksen A resistanssi.
- c) Piirrä kytkentäkaavio, josta ilmenee, miten määrittäisit mittaamalla vastuksen A resistanssin.

Tehtäviä

8-5

8-7

8-8

8-10

8-12

8-13

8-15



Resistiivisyys



Tutkimus 1



METALLILANGAN RESISTANSSIN RIIPPUVUUS MATERIAALISTA, PITUUDESTA JA POIKKIPINTA-ALASTA

1. Mittaa vähintään kahden eri materiaalista valmistetun, samanpituisen ja -paksuisen metallilangan resistanssi. Onko langan materiaalilla vaikutusta resistanssiin?
2. Mittaa vastuslangan resistanssi langan pituuden funktiona. Muuta tutkittavan langan pituutta siirtämällä vastusmittarin koskettimia eri etäisyydelle toisistaan. Tee vastaavat mittaukset käyttäen toisesta materiaalista valmistettua metallilankaa. Esitä mittaustulokset l, R -koordinaatistossa. Miten metallilangan resistanssi riippuu langan pituudesta?
3. Tutki, miten samanpituisten ja samaa ainetta olevien metallilankojen resistanssi riippuu langan poikkipinta-alasta A (paksuudesta).

l (cm)	R (Ω)

Resistiivisyys on aineen ominaisuus

Metallilangan resistanssi tietyssä lämpötilassa voidaan laskea kaavalla:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

R = resistanssi

ρ = aineen resistiivisyys tarkastelulämpötilassa

l = langan pituus

A = langan poikkipinta-ala

$$[\rho] = [\Omega m]$$



ESIMERKKI 1

Kuparikaapelin resistanssi ja pituus

- a) Kelassa olevan kuparikaapelin pituus on 1,0 km. Kaapelin halkaisija on 1,60 mm. Laske kaapelin resistanssi.
- b) Kuparijohtimessa kulkee 110 mA sähkövirta. Johtimen halkaisija on 0,20 mm. Kuinka pitkä pitää johtimen olla, jotta johtimen päiden välinen jännite olisi 1,7 V?

Resistiivisyys riippuu aineesta ja lämpötilasta

Aineen resistiivisyyden lämpötilakäyttäytymistä voidaan mallintaa matemaattisesti:

$$\rho = \rho_{20}(1 + \alpha\Delta t)$$

ρ = aineen resistiivisyys

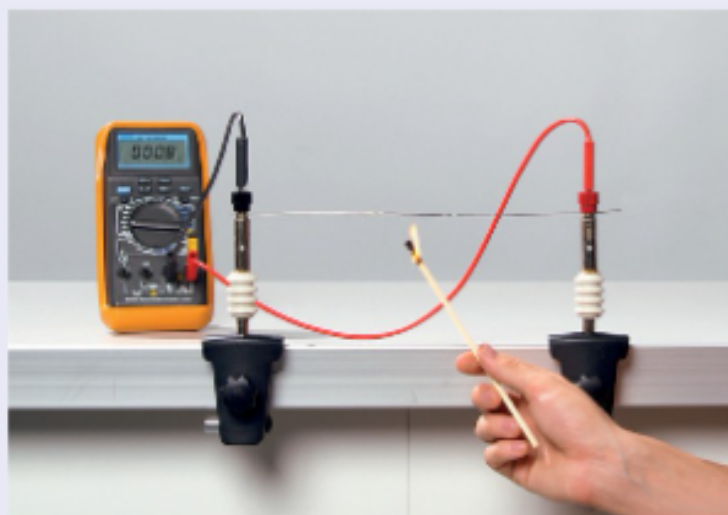
ρ_{20} = aineen resistiivisyys 20 °C lämpötilassa

$\Delta t = t - 20$ °C

α = resistiivisyyden lämpötilakerroin

Johteita	ρ ($10^{-8} \Omega\text{m}$) (20°C)
grafiitti	1 375,0
rauta	9,71
kupari	1,678
volframi	5,65
alumiini	2,655
kulta	2,35
Eristeitä	ρ ($10^{12} \Omega\text{m}$)
posliini	3
akryyli	1 000

Tutkimus 2



LÄMPÖTILAN VAIKUTUS RESISTANSSIIN

Mittaa yleismittarilla rautalangan resistanssi. Lämmitä rautalankaa varovasti liekillä. Tarkkaile samalla mittarin lukemaa.

Lopeta lämmitys, ja tarkkaile kuinka mittarin lukema muuttuu. Mitä voit sanoa metallilangan resistanssin lämpötilariippuvuudesta? Jos käytössäsi ei ole tutkimuksessa tarvittavia välineitä, tee tutkimus videon avulla.

Lämpötila vaikuttaa myös resistanssiin

Lämpötilan nousu vaikuttaa johdinmateriaalin geometriaan ja sen rakenne hiukkasten liikkeeseen. Tästä johtuen lämpötilan noustessa johtimen resistanssi kasvaa.

$$R = R_{20}(1 + \alpha \Delta t)$$

R = langan resistanssi

R_{20} = langan resistanssi 20 °C lämpötilassa

Δt = $t - 20$ °C

α = resistiivisyyden lämpötilakerroin

Δt (°C)	R (Ω)
10	17,5
20	18,0
30	19,0
45	20,0
60	21,0
85	23,0

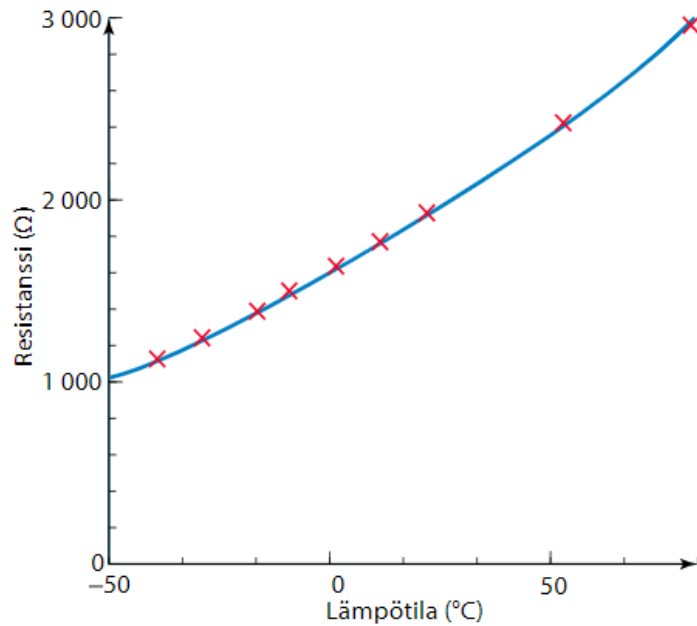
ESIMERKKI 2

Resistiivisyyden lämpötilakertoimen määrittäminen

Metallilangan resistanssin lämpötilariippuvuutta tutkittiin tietokonepohjaisen mittausjärjestelmän avulla. Aluksi metallilanka oli huoneen lämpötilassa (+20 °C). Lankaa lämmitettiin. Mittaus käynnistettiin, kun langan lämpötila oli kohonnut 10 °C, ja lopetettiin, kun lämpötila oli kohonnut 85 °C. Tulokset taulukoitiin.

- Esitä mittaustulokset $\Delta t, R$ -koordinaatistossa.
- Määritä metallilangan resistanssi 20 °C:n lämpötilassa.
- Määritä lankamateriaalin resistiivisyyden lämpötilakerroin.

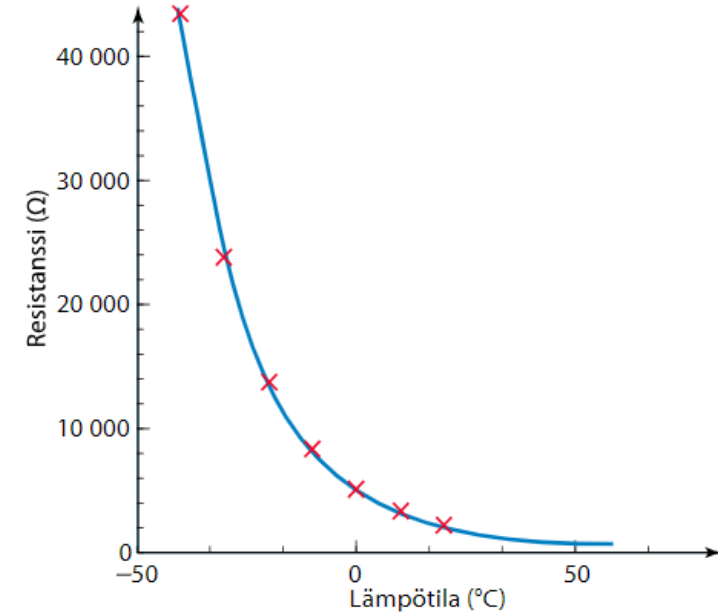
Vastuksen resistanssia voidaan myös säätää



PTC-vastuksen lämpötilariippuvuus.



Valovastusta (LDR, *Light Dependent Resistor*) käytetään esimerkiksi hämäräkytkimissä. Valovastuksen resistanssi riippuu ympäristön valaistuksesta. Valaistusvoimakkuuden kasvaessa resistanssi pienenee.



NTC-vastuksen lämpötilariippuvuus.

Tehtäviä

9-5

9-6

9-7

9-8

9-9

9-12

9-13



Sähkölaitteen teho ja energian kulutus



Sähkölaite muuntaa sähköenergiaa toiseen muotoon

- Sähkölaitteella muutetaan sähköenergiaa johonkin haluttuun muotoon:
 - Valoenergia
 - Lämpöenergia
 - Äänienergia
 - Mekaaninen energia
- Mitä tehokkaampi laite, sitä nopeammin se kykenee muuntamaan sähköenergiaa

$$P = UI \qquad [P] = 1 W$$

P = Teho

U = Jännite

I = Sähkövirta



HUOM! Osa sähköenergiasta menee hukkaan!

ESIMERKKI 1

Virtapiirin kuormitus

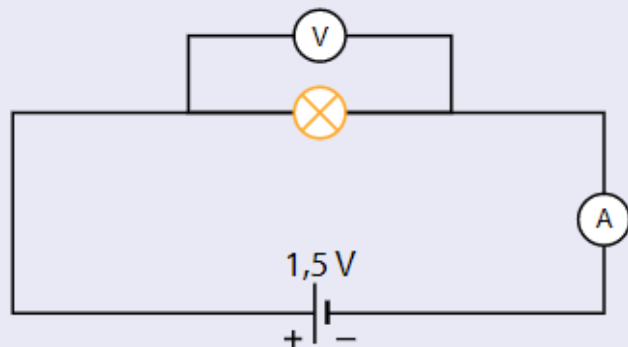
Kodin yhdessä virtapiirissä voi olla samanaikaisesti käytössä useita sähkölaitteita, joilla on suuri sähköteho. Laitteiden samanaikainen käyttö aiheuttaa virtapiiriin suuren kuormituksen, ja voi olla, että virtapiirissä oleva sulake katkaisee virtapiiristä sähkövirran. Kuinka suuri virtapiiriin kytkettävien laitteiden yhteenlaskettu sähköteho voi enimmillään olla, kun virtapiirissä on 16 A:n sulake?

Tutkimus 1

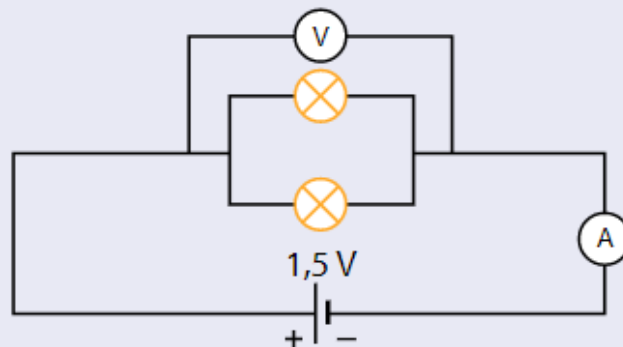
U (V)	I (A)	P (W)

TEHON RIIPPUVUUS JÄNNITTEESTÄ JA SÄHKÖVIRRASTA

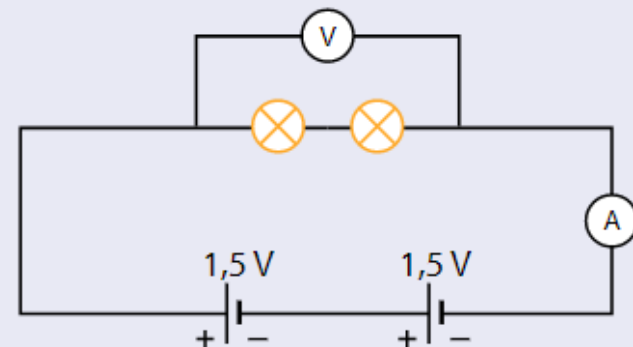
Tutki, miten lampun ja kahden lampun systeemin valaisuteho riippuu jännitehäviöstä ja sähkövirrasta. Rakenna kuvien mukaiset kytkennät, joissa lamput ja paristot ovat keskenään samanlaisia. Kirjaa ylös jännite- ja virtamittarin lukemat jokaisessa kytkennässä.



Kytkenä 1.



Kytkenä 2.



Kytkenä 3.

Joulen laki

- Sähkölaite muuttaa sähköenergiaa lämmöksi. Tätä voidaan mallintaa ns. Joulen lailla

$$P = RI^2$$

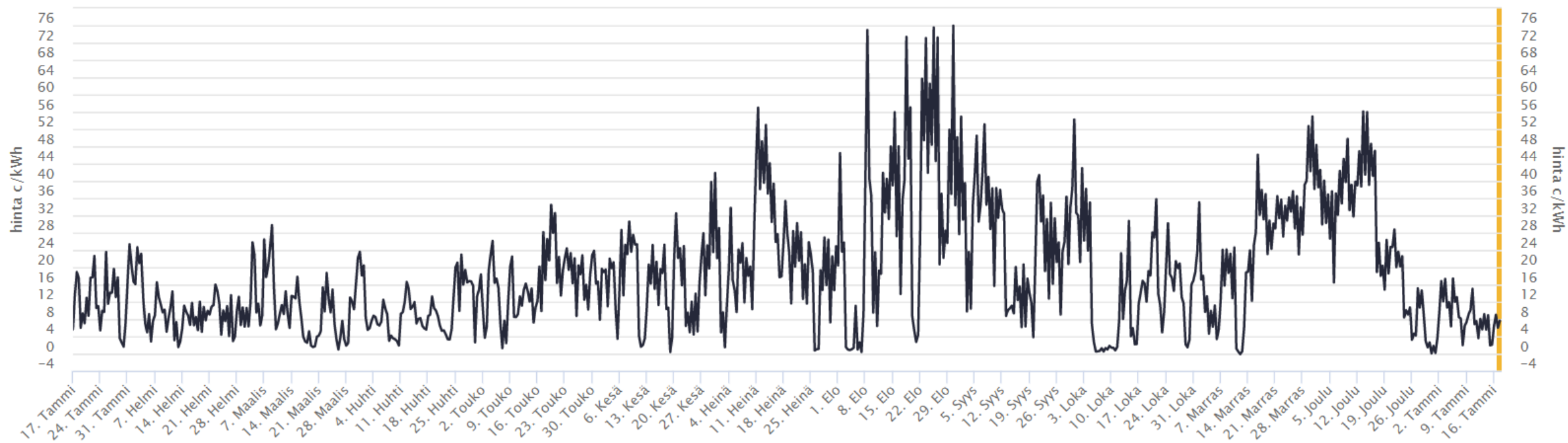


ESIMERKKI 2

Leivänpaahtimen teho

Verkkojännitteeseen kytketyn leivänpaahtimen lämmitysvastuksen läpi kulkee 4,2 A:n sähkövirta. Lämmitysvastuksen resistanssi on 55 Ω . Kuinka suurella teholla vastus tuottaa lämpöä?

'Sähköenergialla on hintansa...



$$E = Pt$$

ESIMERKKI 3

Sähköauton lataamisen hinta

Perheen sähköautolla ajetaan keskimäärin 55 km päivittäin. Autoa ladataan autotallissa olevalla latauslaitteella keskimäärin 3,5 tuntia vuorokaudessa 3 kW:n teholla. Energian kokonaishinta on 15 snt/kWh.

- a) Kuinka paljon auton lataaminen maksaa vuodessa?
- b) Paljonko energiakulut ovat 100 km kohden?

Tehtäviä

10-6

10-7

10-8

10-9

10-11

10-12

10-14

10-17

10-19

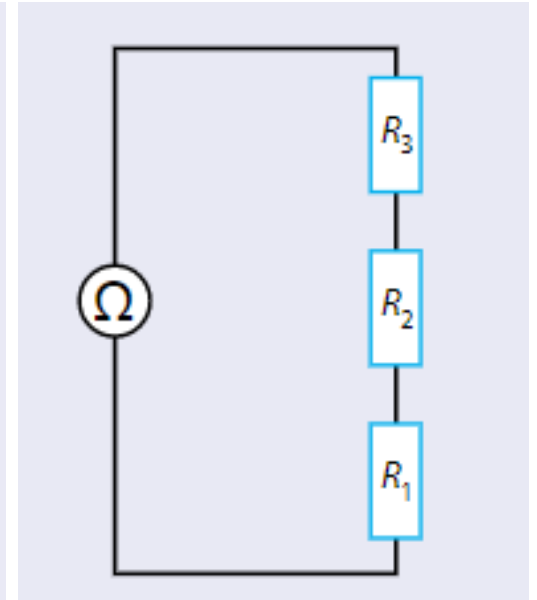
A close-up photograph showing three resistors being soldered onto a green printed circuit board (PCB). A person's finger is visible on the left, holding the leads of the resistors. The resistors are cylindrical with yellow bodies and various colored bands (green, black, red, orange, brown) indicating their resistance values. The PCB has a grid of silver-colored solder pads. The text "Vastukset rajoittavat sähkövirtaa" is overlaid in white on the image.

Vastukset rajoittavat sähkövirtaa

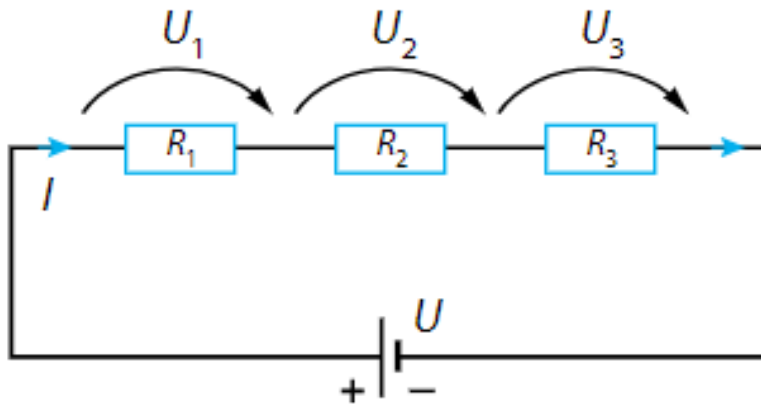
Tutkimus 1

VASTUSTEN SARJA- JA RINNANKYTKENTÄ

Mittaa kolmen erilaisen vastuksen resistanssit. Käytä resistanssin mittaamiseen yleismittaria. Kytke sitten vastuksia yksitellen sarjaan ja mittaa syntyvien vastusyhdistelmien resistanssit. Toista mittaukset siten, että kytket vastuksia rinnan. Kirjaa tulokset ylös.

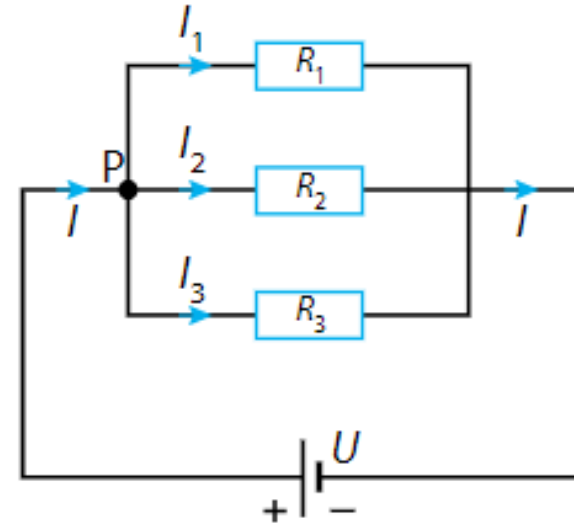


Vastukset voidaan kytkeä eri tavoin



Vastukset sarjaan kytkettynä.

$$R_{kok} = R_1 + R_2 + R_3$$



Vastukset rinnankytkettynä.

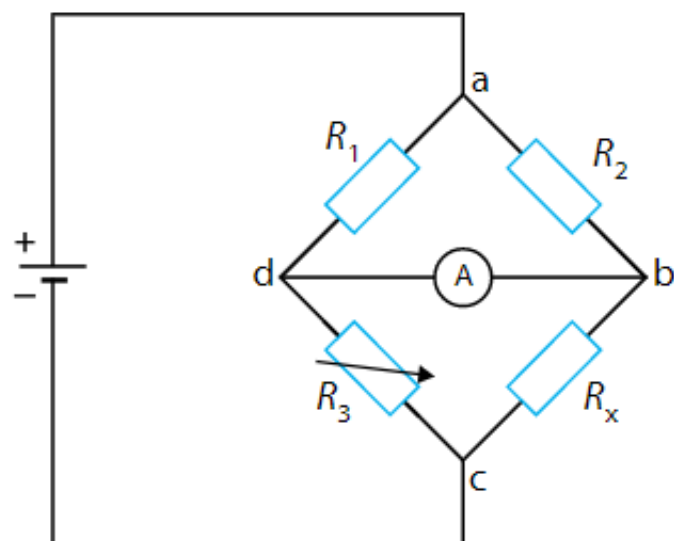
$$R_{kok} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

ESIMERKKI 1

Vastusyhdistelmän resistanssi

Vastusten resistanssit ovat $25\text{ k}\Omega$ ja $45\text{ k}\Omega$.

- a) Laske vastusyhdistelmän resistanssi, kun vastukset ovat sarjassa.
Mitä voit sanoa vastusyhdistelmän resistanssin suuruudesta verrattuna yksittäisten vastusten resistansseihin?
- b) Sarjaan kytketyt vastukset liitetään 23 V :n jännitteeseen.
Laske virtapiirissä kulkeva sähkövirta.
- c) Laske vastusyhdistelmän resistanssi, kun vastukset ovat rinnan.
Mitä voit sanoa vastusyhdistelmän resistanssin suuruudesta verrattuna yksittäisten vastusten resistansseihin?



Aineisto: 4.A Kuva: KytKentäkaavio.

ESIMERKKI 3

Vastusten siltakytkentä

Aineiston 4.A kaaviokuva esittää ns. siltakytkentää, jota voidaan käyttää tuntemattoman resistanssin R_x määrittämiseen. Pisteiden a ja c välille kytketään jännite, jolloin piiriin syntyy sähkövirta. Säätövastuksen resistanssi R_3 on säädetty niin, että pisteiden b ja d välillä ei ole sähkövirtaa.

- 4.1. Mikä on sähkövirran suunta jännitelähteen ja pisteen a välillä ja jännitelähteen ja pisteen c välillä? Kumpi sähkövirroista on suurempi, vai ovatko ne yhtä suuret? (4 p.)
- 4.2. Kuinka suuri jännite on pisteiden b ja d välillä? (3 p.)
- 4.3. Johda resistanssille R_x lauseke, joka riippuu vain resistansseista R_1 , R_2 ja R_3 . (8 p.) [K2021/4]

Tehtäviä

11-5

11-6

11-7

11-9

11-10

11-11

11-13

11-16