

FY6 vastaukset s25

1.

*Elektroni sijaitsee sähkökentässä, jonka voimakkuus on 7,2 N/C. Kuinka suuri ja minkä suuntainen voima elektroniin vaikuttaa?*

**Oikea vastaus:**  $1,2 \cdot 10^{-18}$  N kenttään nähden vastakkaiseen suuntaan.

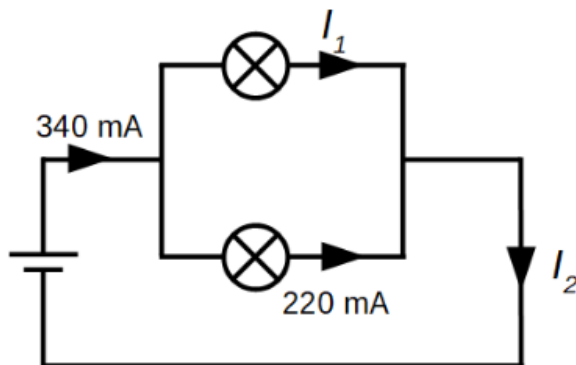
**Perustelu:** Elektroni on varaukseltaan negatiivinen, joten sähköisen voiman suunta on kentän suuntaan nähden vastakkainen. Voiman suuruus on  $F = QE = eE$ , joissa  $Q=e$  on varaus (alkeisvaraus) ja  $E$  on sähkökentän voimakkuus. ( $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$  C)

*Kaksi pientä varattua kappaletta hylkivät toisiaan 2,4 N voimilla. Kuinka suuria hylkivät voimat ovat, kun kappaleet siirretään kaksinkertaiselle etäisyydelle toisistaan? Ovatko varausten etumerkit samat vai vastakkaiset?*

**Oikea vastaus:** Voimien suuruus on 0,6 N ja varauksilla on keskenään sama etumerkki.

**Perustelu:** Positiiviset varaukset hylkivät positiivisia ja negatiiviset negatiivisia. Erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa. Kaksinkertaisella etäisyydellä voima on neljäsosan alkuperäisestä, Coulombin lain  $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$  mukaisesti.

*Oheisessa kuvassa on kytkentäkaavio, johon on merkitty nuolin neljä kohtaa, joissa kulkevaa sähkövirtaa tarkastellaan. Kaksi merkittyä virtaa ovat tunnettuja ja ilmenevät kuvasta. Valitse vaihtoehto, jossa molemmat virrat  $I_1$  ja  $I_2$  saavat oikeat arvonsa.*

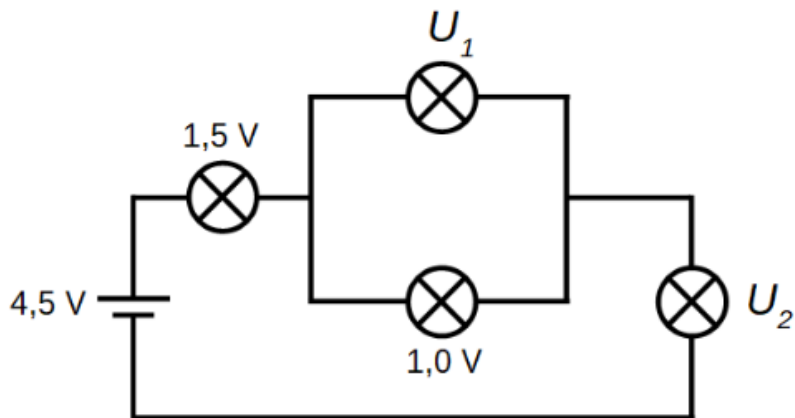


**Oikea vastaus:**  $I_1 = 120$  mA;  $I_2 = 340$  mA

**Perustelu:** Kirchhoffin 1. laki (virtalaki):  $I_1 = 340$  mA  $-$   $220$  mA  $= 120$  mA.

$I_2$  taas on lampun läpäisevien virtojen summa. Toisaalta myös sekä  $I_2$  että kuvaan merkitty 340 mA virta ovat virta joka läpäisee pariston ja siksi keskenään yhtä suuret.

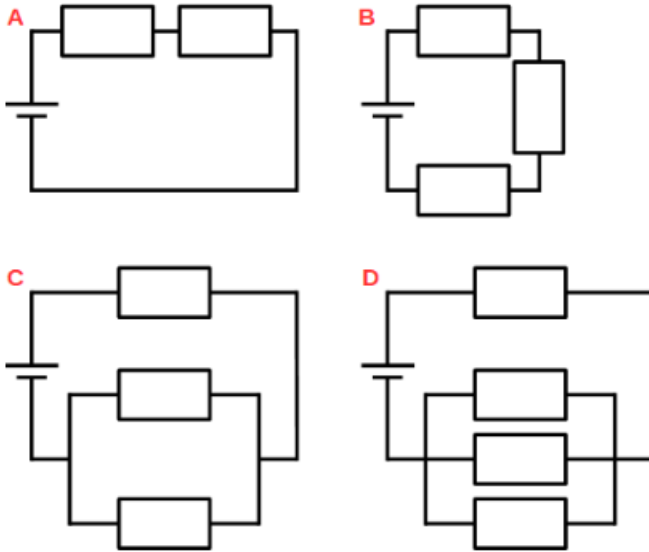
Oheiseen kuvaan on merkitty pariston ja kahden lampun napajännitteet. Määritä kahden muun lampun napajännitteet  $U_1$  ja  $U_2$ .



Oikea vastaus:  $U_1 = 1,0 \text{ V}$ ;  $U_2 = 2,0 \text{ V}$

**Perustelu:** Kuvan ylin lamppu on kytketty rinnan lampun kanssa, jolla on jännite 1,0 V, joten myös sen jännite on 1,0 V. Kyseinen rinnankytkentä on kytketty sarjaan kahden muun lampun kanssa, josta saa viimeisen lampun jännitteen 2,0 V.

Oheisessa kuvassa on virtapiirit A, B, C ja D, joissa on tässä järjestyksessä 2, 3, 3 ja 4 vastusta. Kaikki paristot ja vastukset ovat samanlaisia. Missä kytkennässä sähkövirta pariston läpi on suurin?



Oikea vastaus: D

**Perustelu:** Rinnankytkentä pienentää resistanssia. Sarjakytkentä kasvattaa resistanssia. Kokonaisresistanssit näin ollen pienimmästä suurimpaan: D, C, A, B. Pienempi resistanssi kasvattaa sähkövirtaa.

*Heliumydin koostuu kahdesta protonista ja kahdesta neutronista. Sen varaus on*

Oikea vastaus: +0,32 aC

**Perustelu:** Kahden protonin takia varaus on positiivinen kaksinkertainen alkeisvaraus, joka on atto-etuliitteellä ilmaistuna kahdella merkitsevällä numerolla +0,32 aC.

Kahden keskenään samanlaisen metallikuulan varaukset ovat  $-4,0 \mu\text{C}$  ja  $+2,0 \mu\text{C}$ . Kuulat siirretään hetkeksi kiinni toisiinsa. Mitkä varaukset kuulilla on tämän jälkeen?

Oikea vastaus:  $-1,0 \mu\text{C}$  ja  $-1,0 \mu\text{C}$

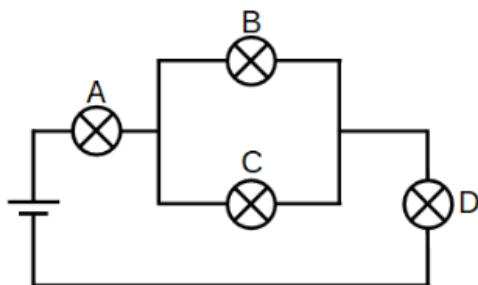
Perustelu: Kuulien yhteenlaskettu varaus on  $-2,0 \mu\text{C}$ , joka tässä tilanteessa (samanlaiset metallikuulat) jakautuu kuulien välillä tasan.

Positiivisesti varattu kappale siirtyy sähkökentässä siten, että kappaleen potentiaalienergia kasvaa. Miten tämä tapahtuu?

Oikea vastaus: Kappaletta siirretään ulkoisella voimalla päinvastaiseen suuntaan kuin sähkökentän suunta.

Perustelu: Potentiaali ja siis myös positiivisesti varatun kappaleen potentiaalienergia ovat korkeampia, kun siirtosuunta on päinvastainen kuin kentän suunta. Sähköinen voima taas vaikuttaa positiivisesti varattuun kappaleeseen kentän suuntaisesti, joten siirtotyöhön tarvitaan muu voima kuin sähköinen voima.

Samanlaiset hehkulamput A, B, C ja D ovat kytkettyinä kuvan mukaisesti.



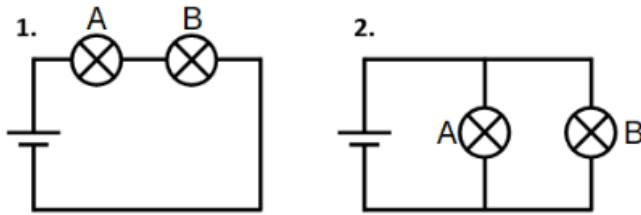
Lumeneissa (lm) ilmaistava valovirta (valoteho) on mitta lampun lähettämän näkyvän valon määrästä. Valitse vaihtoehto, jossa valovirrat ovat tilanteeseen nähden mahdolliset.

Oikea vastaus: A: 23 lm, B: 8 lm, C: 8 lm, D: 23 lm

Perustelu: A:n ja D:n läpi kulkee yhtä suuri sähkövirta (joka on myös virta pariston läpi). Kirchhoffin 1. lain mukaan B:n ja C:n läpi kulkee lampukohtaisesti puolet tästä sähkövirrasta. Siksi yhtä kirkkaat A ja D loistavat kirkkaammin kuin keskenään yhtä kirkkaat B ja C.

(Viileämpien B:n ja C:n resistanssit ovat myös tilanteessa pienemmät. Tästä syystä niiden teho on puolikkaalla virralla alle puolet A:n ja D:n tehosta. Lisäksi niiden tapauksessa tehosta menee suurempi osuus infrapunasäteilyyn, mikä myös vähentää näkyvän valon määrää.)

Alla on kaksi erilaista kytkentää, joissa käytetään samoja hehkulamppuja A ja B.



Lamput A ja B ovat kuitenkin keskenään erilaiset. Kytkenässä 1. lamppu B loistaa kirkkaammin kuin lamppu A.

Mikä seuraavista väitteistä on tällöin tosi?

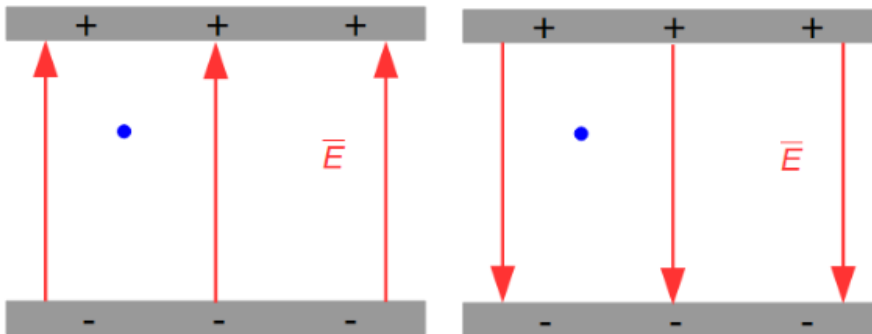
Oikea vastaus: 2. kytkenässä lamppu A loistaa kirkkaammin kuin B ja se loistaa myös kirkkaammin kuin 1. kytkenässä.

**Perustelu:** Kytkenässä 1. virta molempien lamppujen läpi on yhtä suuri, joten B:n loistaessa kirkkaammin, sen teho on suurempi ja siis myös sen resistanssi on suurempi. ( $P = RI^2$ .) Kytkenässä 2. taas lamppujen jännitteet ovat yhtä suuret. A:n resistanssin ollessa tässäkin tapauksessa pienempi (resistanssit eivät ole vakioita, mutta A:n resistanssi on silti pienempi) A:n läpi kulkeva virta on suurempi, jolloin sen teho on samoilla jännitteillä suurempi. ( $P = UI$ .) A loistaa myös kytkenässä 2. kirkkaammin kuin kytkenässä 1, sillä sen napajännite on kytkenässä 2. sama kuin pariston, kun taas kytkenässä 1. pariston jännite jakautuu lamppujen välillä. (Kokeellisesti havaitaan tässä järjestyksessä sarjakytkenässä suurempi ero kirkkauksissa.)

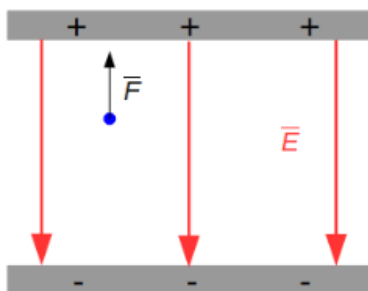
2.

1. Kopioi kahdesta kuvasta se, joka on oikein piirretty ja lisää elektroniin voimantuoli  $\vec{F}$  joka osoittaa elektroniin vaikuttavan sähköisen voiman suunnan.

Sinun ei tarvitse käyttää merkinnässäsi vektorimerkintää (viivaa  $F$ :n yllä).



RATKAISU



PISTEYTYYS

- Sähkökentän suunta on alas ja voiman suunta ylös sekä nuolen yhteydessä kirjain  $F$  (2 p.)
- Voimantuoli alkaa elektronista (1 p.)

2. Käytä taulukkokokoelmaa elektronin varauksen selvittämiseen ja laske elektroniin vaikuttavan sähköisen voiman suuruus.

#### RATKAISU

Elektronin varaus on negatiivinen alkeisvaraus. Varaus ja sähkökentän voimakkuus ovat

$$q = -1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad E = 2430 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

(Koska varaus on negatiivinen, sähköinen voima kohdistuu kenttään nähden vastakkaiseen suuntaan.)

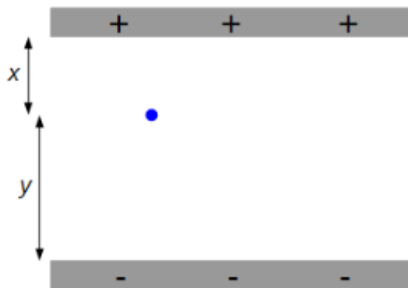
$$\text{Voiman suuruus on } F = |q|E = 3,893\,289\,220\,62 \cdot 10^{-16} \text{ N} \approx 0,389 \text{ fN}.$$

#### PISTEYTYS

- Alkeisvaraus löydetty (1 p.)
- Voima laskettu (1 p.)

3. Kuvassa on etäisyydet  $x = 4,02 \text{ mm}$  ja  $y = 7,98 \text{ mm}$ . Laske elektronin potentiaalienergia suhteessa levyyn, joka vetää elektronia.

Määritä potentiaalienergian lisäksi myös sähköpotentiaali pisteessä, jossa elektroni sijaitsee, kun negatiivinen levy on maadoitettu, eli sähköpotentiaali siinä on nolla.



#### RATKAISU

Elektroniin vaikuttava voima on kuvassa kohti positiivista levyä ja pois päin negatiivisesta. Tästä syystä potentiaalienergialle on välimatka  $x$  oleellinen. Koska negatiivinen levy vastaa nollapotentiaalia, potentiaalia laskettaessa on välimatka  $y$  oleellinen.

$$q = -1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad E = 2430 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$
$$x = 4,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}, \quad y = 7,98 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Elektronin potentiaalienergia on } E_p = |q|Ex = 1,565\,102\,266\,689\,24 \cdot 10^{-18} \text{ J} \approx 1,57 \text{ aJ}.$$

Potentiaali elektronin kohdalla on yhtä suuri kuin potentiaaliero, eli jännite, suhteessa negatiivisesti varattuun levyyn.

$$\text{Potentiaali on näin ollen } V = Ey = 19,3914 \text{ V} \approx 19,4 \text{ V}.$$

#### PISTEYTYS

- Potentiaalienergian lauseke ja tulos (2 p.)
- Potentiaalilin lauseke ja tulos (2 p.)

4. Toinen levossa oleva elektroni päästetään vapaaksi negatiivisesti varatulta levyiltä. Laske tämän elektronin liike-energia sen törmätessä positiiviseen levyyn. Laske myös elektronin nopeus, kun se törmää positiiviseen levyyn.

#### RATKAISU

Elektroni kulkee matkan  $d = y + x = 0,0120 \text{ m}$ . Elektronin massa on  $m = 9,109\,3837 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ . Kuten edellisissä osatehtävissä:

$$q = -1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad E = 2430 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Elektronin potentiaalienergia  $E_p$  alussa muuntuu sen liike-energiaksi. Liike-energia on siis lopuksi  $E_k = |q|Ed = 4,671\,947\,064\,744 \cdot 10^{-18} \text{ J} \approx 4,67 \text{ aJ}$ .

$$\text{Liike-energian yhtälö } E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Edellisestä pyöristämättömästä liike-energian arvosta ja elektronin massasta saadaan elektronin nopeus

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \left( \sqrt{\frac{2|q|Ed}{m}} \right) = 3,202\,723\,576 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3,20 \frac{\text{Mm}}{\text{s}}$$

#### PISTEYTYKSI

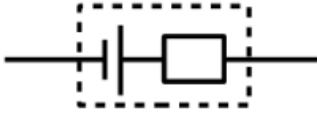
- Elektronin massa on kirjoitettu (1 p.)
- Etäisyys on määritetty oikein ( $d = 0,0120 \text{ m}$ ) (1 p.)
- Liike-energia lopussa perustellaan sanallisesti tai selvällä kaavalla energianmuunnoksesta, työstä tai muutoin oikein (1 p.)
- Liike-energiälle lopullinen lauseke, joka vastaa potentiaalienergiaa tai työtä taikka väliarvoja (esimerkiksi jännite) hyödyntävä esitys on selkeä (1 p.)
- Liike-energian tulos, joka vastaa oikeaa etäisyyttä (1 p.)
- Elektronin nopeus on laskettu liike-energian kaavasta (1 p.)

3.

1. Piirrä kytkentäkaavio lataustapahtuman virtapiiristä ja merkitse latausvirran  $I$  suunta nuolella tai selitä suunta sanoin.

Kerro sanallisesti tai merkitse kuvaan, kumpi akku on puhelimen ja kumpi on varavirtalähteen.

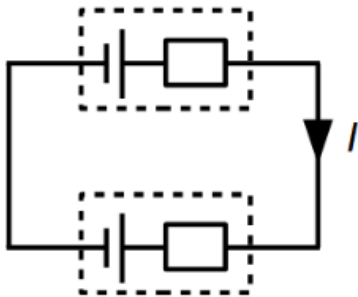
Voit käyttää molemmille akuille hyödyksesi alla olevan kuvan mukaista yhdistelmää ideaalisesta jännitelähteestä ja sisäisestä vastuksesta. (Voit halutessasi jättää niitä ympäröivän katkoviivaisen suorakaiteen pois.)



Kytkenäkaavioon ei tarvitse piirtää komponentteja, joilla järjestelmä säätää jännitettä. Kaksi akkua suljetussa virtapiirissä, niiden erittely ja latausvirran suunta riittävät.

#### RATKAISU

Alla olevassa kuvassa ylempi akku on varavirtalähde ja alempi akku on puhelimen.



#### PISTEYTYS

- Plusnavat ovat vastakkain (2 p.)
- Virta kulkee oikeaan suuntaan suhteessa siihen, kumpi akku valittiin kummaksi (1 p.)

2. Mihin arvoon varavirtalähteen lähdejännite  $E_{pb}$  asettuu johdantotekstin mainitsemana hetkenä, jolloin latausvirta on  $I = 1,5 \text{ A}$  ja puhelimen lähdejännite on  $E_{tel} = 4,2 \text{ V}$ ?

Oleta latausjohdon resistanssi merkityksettömäksi.

#### RATKAISU

Kysymyksen antamia arvoja täydennetään molempien akkujen sisäisillä resistansseilla, jotka ilmenevät tehtävän johdantotekstissä:

$$E_{tel} = 4,2 \text{ V}, \quad I = 1,5 \text{ A}, \quad R_{tel} = 0,075 \Omega, \quad R_{pb} = 0,065 \Omega$$

Kirchhoffin 2. laki (jännitelaki), johon on sijoitettu Ohmin lain mukaiset jännitehäviöt sisäisissä vastuksissa

$$E_{pb} - R_{pb}I - R_{tel}I - E_{tel} = 0$$

$$\text{Tarvittava lähdejännite on täten } E_{pb} = E_{tel} + (R_{pb} + R_{tel})I = 4,41 \text{ V} \approx 4,4 \text{ V}.$$

#### PISTEYTYKSI

- Sisäiset resistanssit on poimittu johdantotekstistä (1 p.)
- Kirchhoffin toinen laki pohjana lopulliselle ratkaisulle kuten esimerkkitratkaisussa TAI
  - sisäisten vastusten sarjakytkennän resistanssin kaava (2 p.)
  - ilmenee kaavamuuotoisesti, että vastusten sarjakytkennän jännitehäviö on lähdejännitteiden erotus (1 p.)
  - Ohmin lailla laskettu lauseke tai arvo vastusten sarjakytkennän jännitehäviölle (1 p.)
- YHTEENSÄ NÄISTÄ (4 p.)
- Varavirtalähteen lähdejännitteen lauseke ja tulos kahdella merkitsevällä numerolla (2 p.)

3. Millä teholla puhelimen akku latautuu ja millä teholla varavirtalähteen akku tyhjenee? Mistä näiden tehojen ero johtuu?

#### RATKAISU

Edellisestä osatehtävästä saa varavirtalähteen lähdejännitteen. Lisäksi tiedetään puhelimen akun lähdejännite ja latausvirta.

Arvot ovat

$$E_{pb} = 4,41 \text{ V}, \quad E_{tel} = 4,2 \text{ V}, \quad I = 1,5 \text{ A}$$

Puhelimen akun latausteho on sähköteho  $P_{tel} = E_{tel}I = 6,3 \text{ W}$ .

Varavirtalähteen akku tyhjenee teholla  $P_{pb} = E_{pb}I = 6,615 \text{ W} \approx 6,6 \text{ W}$ .

Varavirtalähde tyhjenee suuremmalla teholla kuin puhelimen latausteho, sillä näillä molemmilla on sisäinen resistanssi ja tämä aiheuttaa energiahäviöitä molemmissa akuissa. (Osa käytettävästä energiasta muuntuu osien sisäenergiaksi ja siirtyy lopulta lämpönä ympäristöön. / Akut lämpenevät.)

#### PISTEYTYKSI

- Sähkötehon kaava ja yksi teho laskettu (2 p.)
- Lisäksi toinen teho laskettu (1 p.)
- Energiahäviöt selitetty joko sisäisen resistanssin avulla, osien lämpenemisellä tai muulla järkevällä tavalla (1 p.)

4. Miksi latausvirran säätö perustuu kehittyneeseen elektroniikkaan, joka säätää varavirtalähteen lähdejännitettä eikä siihen, että varavirtalähteessä olisi virtaa säätävä vastus?

**RATKAISU**

Edellisen osatehtävän pakollisten energiahäviöiden lisäksi ylimääräinen vastus kuluttaisi myös energiaa (Joulen lain mukaisella teholla  $P = RI^2$ ).

On toivottavaa, että varavirtalähteen energiaa ei kulu energiahäviöihin vaan mahdollisimman suuri osa siirtyy puhelimen akkuun.

(Ylimääräinen vastus aiheuttaisi myös varavirtalähteen lisääntyntä kuumenemista.)

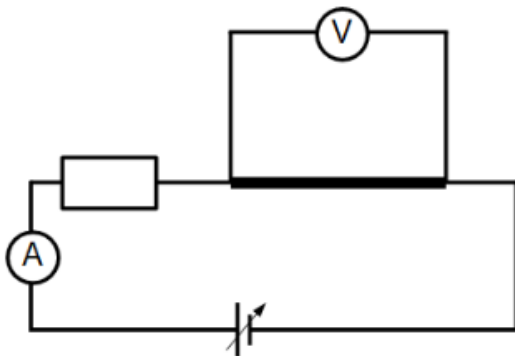
**PISTEYTYS**

- On ymmärretty, että lisävastus kuluttaisi energiaa TAI että se aiheuttaisi varavirtalähteen kuumenemista (1 p.)

4.

1. Lisää valitsemallasi piirto-ohjelmalla tehtävän johdannon kytkentäkaavioon jännite- ja virtamittarit. Kytkenällä tulee mitata langan napajännitettä ja sähkövirtaa langan läpi.

**RATKAISU**



**PISTEYTYS**

- Jännitemittari kytketty rinnan langan kanssa ja virtamittari sarjaan muiden komponenttien kanssa (2 p.)  
- Mittarien kytkennät ovat myös muilta osin oikein (2 p.)

2. Kun langan napajännitettä  $U$  ja langan läpi kulkevaa sähkövirtaa  $I$  mitattiin, saatiin seuraavat tulokset:

$U$ (V)	0,032	0,046	0,067	0,089	0,113	0,133	0,153
$I$ (A)	0,09	0,12	0,18	0,24	0,31	0,36	0,42

Määritä langan resistanssi tilanteeseen sopivasta kuvaajasta.

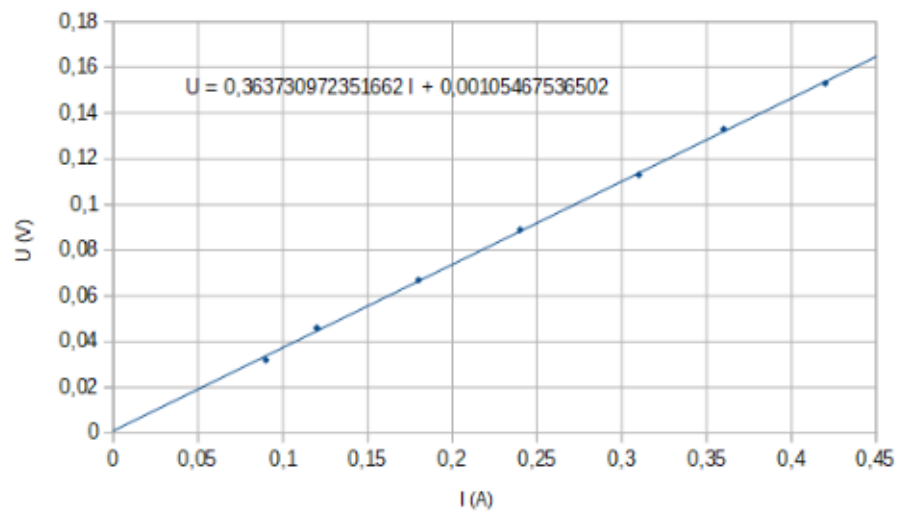
### RATKAISU

Resistanssin, jännitteen ja virran suureyhtälö on  $R = \frac{U}{I}$ .

Resistanssi on siis  $(I,U)$ -kuvaajaan sovitetun suoran kulmakerroin.

Kuvaaja:

$I$ (A)	$U$ (V)
0,09	0,032
0,12	0,046
0,18	0,067
0,24	0,089
0,31	0,113
0,36	0,133
0,42	0,153



Resistanssi luetaan kulmakertoimesta. Se on

$$R = 0,363\ 730\ 9724\ \Omega \approx 364\ \text{m}\Omega.$$

### PISTEYTYS

- Akselit on valittu siten, että resistanssin voi määrittää kuvaajasta ja asia selitetään (3 p.)
- Oikea tulos 2-3 merkitsevän numeron tarkkuudella (2 p.)

3. Käytetty metalli on korusissa usein käytettävä alkuaine. Perustelee edellisestä tuloksesta ja johdantotekstin tiedoista sekä taulukkokokoelmasta päätellen, mikä metalli voisi olla kyseessä. Voit antaa yhden tai useamman kuin yhden vastauksen, kunhan vastauksesi on tieteellisesti perusteltu.

#### RATKAISU

Edellisestä osatehtävästä saatiin langan resistanssi. Lisäksi tehtävän johdatusteksti antaa tutkittavan langan halkaisijan ja langan pituuden. Koska langan poikkileikkauksen säde on puolet sen halkaisijasta, ovat resistanssi, säde ja pituus

$$R = 0,363\,730\,9724\ \Omega, \quad r = 0,115 \cdot 10^{-3}\ \text{m}, \quad l = 0,986\ \text{m}.$$

Tilanteessa on selvítettävissä aineen resistiivisyys ja sen jälkeen on mahdollista verrata tulosta korusissa käytettävien metallien resistiivisyyksiin.

Kun tutkittavan aineen resistiivisyyttä merkitään  $\rho$  ja poikkileikkauksen pinta-alaa  $A$ , pätee yhtälö  $R = \rho \frac{l}{A}$ , joka saa ympyrän pinta-alalausekkeen mukaisesti muodon  $R = \rho \frac{l}{\pi r^2}$ .

$$\text{Resistiivisyys on } \rho = \frac{R\pi r^2}{l} \approx 1,532\,670\,937 \cdot 10^{-8}\ \Omega\text{m}.$$

MAOL:n taulukoiden mukaan alkuainemetalleista vain hopea ( $\rho_{\text{Ag}} = 1,59 \cdot 10^{-8}\ \Omega\text{m}$ ) ja kupari ( $\rho_{\text{Cu}} = 1,678 \cdot 10^{-8}\ \Omega\text{m}$ ) ovat lähelläkään saatua tulosta. Molempia käytetään korusissa, mutta hopea on paljon lähempänä saatua tulosta.

Tutkittu metalli on siis todennäköisesti hopea.

#### PISTEYTYS

- Resistanssin, säteen ja pituuden arvot ilmenevät vastauksesta (1 p.)  
(Säteen ei tarvitse ilmetä, jos puolikasta halkaisijaa käytetään tehtävässä)
- Vastauksessa ymmärretään tutkia aineen resistiivisyyttä (1 p.)
- Resistanssin, resistiivisyyden, pituuden ja poikkipinta-alan suureyhtälö on kirjoitettu (1 p.)
- Ympyrän pinta-alan lauseke on kirjoitettu tai pinta-ala on laskettu väliarvoksi (1 p.)
- Resistiivisyys on ratkaistu (1 p.)
- Löydetty tulokseksi hopea taikka hopea tai kupari (1 p.)

5.

1. Kodin sulakkeet katkaisevat tietyin edellytyksin esimerkiksi huoneesta tai tietyistä kodin laitteista sähkövirran.

Selitä lyhyesti, kuinka sulake toimii virtapiirin osana ja miksi liian monen korkeatehoisen laitteen samanaikainen käyttö aiheuttaa jokaisen laitteen sammumisen.

Keskity vastauksessasi siihen, kuinka sulakkeeseen kytketyt laitteet ovat kytkettyjä suhteessa toisiinsa ja kuinka taas sulake on kytketty suhteessa niihin. Älä keskity siihen, kuinka itse sulake on rakennettu.

(Sähkövirta laitteen läpi on suoraan verrannollinen laitteen tehoon, sillä laitteiden jännite on 230 V.)

#### RATKAISU

Kodin laitteet ovat keskenään rinnankytkettyjä.

Sulake on kytkettynä sarjaan tämän rinnankytkennän kanssa.

Koska laitteet ovat rinnankytkettyjä, kasvattaa jokainen kytketty laite sähkövirtaa.

Koska tämä kytkentä on sarjassa sulakkeen kanssa, jokaisen laitteen yhteenlaskettu sähkövirta kulkee sulakkeen läpi.

Sulake avaa virtapiirin, jos sen läpi kulkeva virta kasvaa liian suureksi.

(Mitä korkeatehoisempi laite ja mitä useampi laite on toiminnassa, sitä suurempi virta kulkee sulakkeen läpi.)

#### PISTEYTYS

- Vastauksesta ilmenee, että kodin laitteet ovat rinnankytkettyjä (1 p.)

- Vastauksesta ilmenee tavalla tai toisella, että sulake on kytkettynä sarjaan tämän rinnankytkennän kanssa (1 p.)

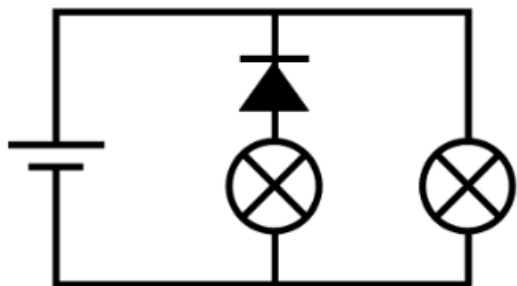
- Vastauksesta ilmenee, että on ymmärretty nimenomaan rinnankytkennän olevan virtaa kasvattava kytkentätapa (Kirchhoffin

1. laki) ja että kokonaisvirta on virtapiirin aukeamisen kannalta keskeinen suure (2 p.)

2. Käytössäsi on johtimia, paristo, diodi ja kaksi hehkulamppua. Piirrä sellainen kytkentäkaavio, jossa vain yksi lamppu kahdesta loistaa. Kytkennän täytyy olla sellainen, että molemmat lamput loistaisivat, jos diodin paikalla olisi pelkkä johdin.

Käytä tarvittaessa hyödyksi taulukkokoelman sivuja, josta löydät komponenttien symboleja kytkentäkaaviossa.

#### RATKAISU



#### PISTEYTYS

- Kytkentäkaavio, joka toteuttaa tehtävänannon tilanteen (3 p.)

3. Opiskelijat tutkivat vihreää ja punaista lediä. Vihreän ledin kynnsjännite on 2,2 V ja punaisen kynnsjännite on 2,0 V. Molemmat ledit toimivat hyvin, jos sähkövirta niiden läpi on välillä 8-25 mA. Käytössä on paristo, jonka jännitteeksi ilmoitetaan 4,5 V.

Opiskelijoiden tehtävänä on kytkeä sarjaan molemmat ledit ja 30,2 Ω vastus. Sen jälkeen heidän tulee määrittää mittaamalla jokaisen komponentin läpi kulkeva sähkövirta ja jokaisen komponentin napajännite.

Laske ennuste kaikille kolmelle jännitteelle ja kolmelle sähkövirralle, kun opettaja on ennakkoon mitannut 4,5 voltin pariston napajännitteeksi samalla virtapiirillä 4,62 V. Toimivatko ledit hyvin?

#### RATKAISU

Pariston napajännite, vihreän ja punaisen ledin kynnsjännitteet sekä vastuksen resistanssi ovat tässä järjestyksessä  $U = 4,62 \text{ V}$ ,  $U_1 = 2,2 \text{ V}$ ,  $U_2 = 2,0 \text{ V}$ ,  $R = 30,2 \Omega$ .

Pariston napajännite ylittää ledien kynnsjännitteiden summan (4,2 V), joten ledien kynnsjännitteet ylittyvät. Ledien napajännitteet ovat tässä tilanteessa suurin piirtein samat kuin niiden kynnsjännitteet.

Kaikki piirin komponentit ovat sarjakytkettyjä, joten niiden läpi kulkee yhtä suuri virta, jota merkitään  $I$ .

Kirchhoffin 2. laki (jännitelaki):  $U - U_1 - U_2 - U_R = 0$ .

Vastuksen napajännite on  $U_R = U - U_1 - U_2 = 0,42 \text{ V} \approx 0,4 \text{ V}$ .

Virta piirissä (ja jokaisen komponentin läpi) on siis Ohmin lain mukaan

$$I = \frac{U_R}{R} \left( = \frac{U - U_1 - U_2}{R} \right) = 0,01390728477 \text{ A} \approx 14 \text{ mA}.$$

Virta 14 mA on sillä välillä, millä molemmat ledit toimivat hyvin (8-25 mA), joten ledit toimivat hyvin.

#### PISTEYTYS

- On ymmärretty viitata pariston napajännitteeseen (4,62 V) JA sivuuttaa pariston ilmoitettu jännite (1 p.)
- Ledien napajännitteiksi ilmoitetaan niiden kynnsjännitteet (2 p.)
- Vastuksen napajännite 0,42 V  $\approx$  0,4 V on määritetty perustellusti (2 p.)
- Ilmenee, että on ymmärretty jokaisen sarjakytketyn komponentin läpi kulkevan yhtä suuri virta ja tämä virta on määritetty vastuksen napajännitteestä ja resistanssista (2 p.)
- Ledien toimivuus todetaan, vedoten saatuun tulokseen (1 p.)

6.

1. Selitä, minkä takia kondensaattoreille on annettu jokin maksimijännite, jolla ne voidaan varata. Mitkä tekijät vaikuttavat kondensaattorin varaamiseen käytettävään maksimijännitteeseen? Mitkä tekijät puolestaan vaikuttavat levykondensaattorin kapasitanssiin? Minkä takia kondensaattoreissa käytetään usein muuta eristeainetta kuin ilmaa? Etsi tarvittaessa tietoja eristeiden läpilyöntilujuuksista taulukkokokoelmasta.

#### **RATKAISU**

Kondensaattorissa tapahtuu läpilyönti, jos sen napajännite on liian suuri.

Mitä heikompi eriste ja mitä lähempänä levyt ovat toisiaan, sitä pienemmällä jännitteellä läpilyönti tapahtuu.

Levykondensaattorin kapasitanssi on puolestaan kaavan  $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$  mukaisesti suoraan verrannollinen eristeen suhteelliseen permittiivisyyteen ja kohdakkaiden kondensaattorilevyjen pinta-alaan sekä kääntäen verrannollinen niiden etäisyyteen toisistaan. Toisin sanoen, kondensaattorin kapasitanssi saadaan sitä suuremmaksi, mitä isommalle alueelle varaus saadaan jaettua ja mitä lähemmäksi levyt saadaan toisiaan ilman, että levyjen välillä tapahtuu läpilyönti eristemateriaalin läpi. MAOL:n taulukko antaa kuivan ilman läpilyöntilujuudeksi (läpilyöntikestävyudeksi) 4,7 kV/mm, kun kaikilla muilla listatuilla aineilla on suurempi läpilyöntilujuus. Ilman suhteellinen permittiivisyys on myös pienempi kuin muiden listattujen eristeiden, mikä pienentää kondensaattorin kapasitanssia. Näistä syistä eristeinä käytetään mieluummin muuta ainetta kuin ilmaa.

#### **PISTEYTYS**

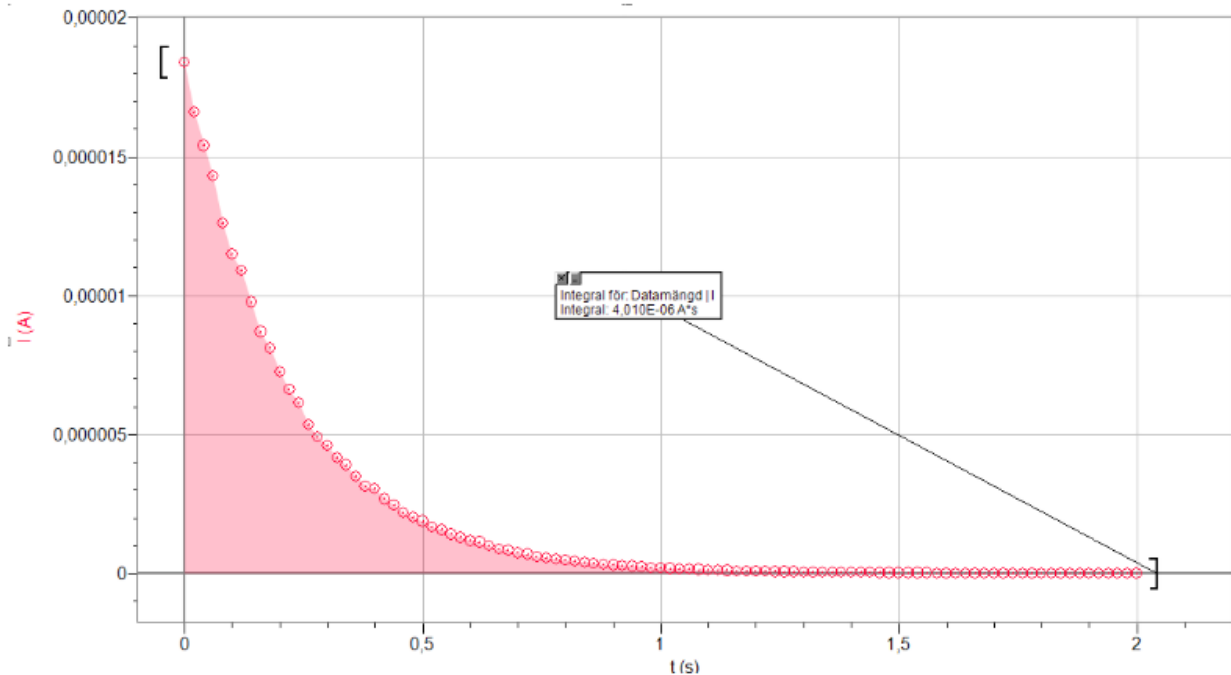
- Ymmärretty tapahtuvan läpilyönti, kun tietty jännite ylittyy (1 p.)
- Ymmärretty maksimijännitteen riippuvan eristeen heikkoudesta (1 p.) ja levyjen välisestä etäisyydestä (1 p.) (2 p.)
- Levykondensaattorin kapasitanssin kaava annettu ja sillä perusteltu kolmen muuttujasuureen vaikutus kapasitanssiin (2 p.)
- Ilmalla on heikko läpilyöntilujuus ja pieni suhteellinen permittiviteetti, joten se ei ole hyvä eriste kondensaattorissa (1 p.)

2. Aineistossa on mittausdata tilanteelle, jossa ensin ladattiin kondensaattori ja tämän jälkeen kondensaattori purettiin. Kun kondensaattori purettiin, oli virtapiirissä sarjakytkettyinä mittausohjelmaan kytketty virtamittari, kondensaattori ja vastus, jonka resistanssi oli  $220 \text{ k}\Omega$ .

Määritä täysin ladatun kondensaattorin varaus mittausdatasta.

#### RATKAISU

Varaus on sähkövirran aikaintegraali (TAI sähkövirran aikakuvaajan ja akselin välinen pinta-ala tarkastelujaksolla).



Sähkövirran aikaintegraali (pinta-ala) luetaan kuvaajasta.

Varaus oli alkuhetkellä  $Q = 4,010 \cdot 10^{-6} \text{ C} \approx 4,0 \mu\text{C}$ .

#### PISTEYTYS

- Vastauksesta ilmenee oikealla tavalla integroinnin kolme suuretta: aika, sähkövirta ja varaus (2 p.)
- Oikea tulos kahdella merkitsevällä numerolla (2 p.)

3. Hyödynnä liitteen mittausdataa ja edellisessä osatehtävässä annettua tietoa vastuksen resistanssista. Määritä kondensaattorin napajännite juuri ennen kuin sen purkaminen aloitettiin.

#### RATKAISU

Kuvaaja on siisti, joten virran alkuarvona voi käyttää sen ensimmäistä taulukosta luettua arvoa. Vastuksen resistanssi ja virta alussa ovat  $R = 220 \cdot 10^3 \Omega$ ,  $I = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ A}$ .

Kun kondensaattori purkautuu, sen napajännite on Kirchhoffin toisen lain mukaan sama kuin sen kanssa sarjakytketyn vastuksen.

Vastuksen jännite alussa on Ohmin lain mukaan  $U = RI \approx 4,048 \text{ V} \approx 4,0 \text{ V}$ .

Tämä on myös kondensaattorin napajännite alussa.

#### PISTEYTYS

- Kondensaattorin jännite perustellaan samaksi kuin vastuksen (2 p.)
- Ensimmäinen virran arvo luetaan datasta (1 p.)
- Laskukaava ja tulos (2 p.)

4. Laske kahdessa edellisessä osatehtävässä käsitellyn kondensaattorin kapasitanssi.

**RATKAISU**

Edellisissä osatehtävissä on määritetty ladatun kondensaattorin varaus ja jännite. Ne ovat

$$Q = 4,010 \cdot 10^{-6} \text{ C}, \quad U = 4,048 \text{ V}$$

Kondensaattorin kapasitanssi on  $C = \frac{Q}{U} \approx 9,906\,126\,482 \cdot 10^{-7} \text{ F} \approx 1,0 \mu\text{F}$ .

**PISTEYTYYS**

- Varaus ja jännite haettu edellisistä osatehtävistä (1 p.)
- Kapasitanssin laskukaava ja tulos kahdella tai kolmella merkitsevällä numerolla (2 p.)

5. Määritä kolmen edellisen osatehtävän vastuksen kuluttama energia, kun kondensaattori purettiin.

**RATKAISU**

Kuten edellisessä osatehtävässä,

$$Q = 4,010 \cdot 10^{-6} \text{ C}, \quad U = 4,048 \text{ V}$$

Vastus kuluttaa koko kondensaattorin energian, joten vastuksen kuluttama energia on yhtä suuri kuin mikä ladatun kondensaattorin energia oli.

$$\text{Energia on täten } E = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}QU = 8,116\,24 \cdot 10^{-6} \text{ J} \approx 8,1 \mu\text{J}.$$

**PISTEYTYYS**

- Perustelu, että kondensaattorin energia alussa vastaa vastuksen kuluttamaa energiaa purettaessa kondensaattori (1 p.)
- Lasku ja oikea tulos kahdella tai kolmella merkitsevällä numerolla (1 p.)

7.

Suunnittele koe, jolla määrität 1,5 voltin pariston sisäisen resistanssin.

Sinulla on käytössäsi:

- paristo
- jännitemittari
- virtamittari
- lämpömittari
- johtimia
- kondensaattori ( $C = 4,7 \mu\text{F}$ )
- säätövastus
- tietokone, jossa on ohjelmia datankäsittelyyn

Piirrä mittaussuunnitelmaasi kytkentäkaavio ja kerro kuinka käytät käytössäsi olevaa varustusta.

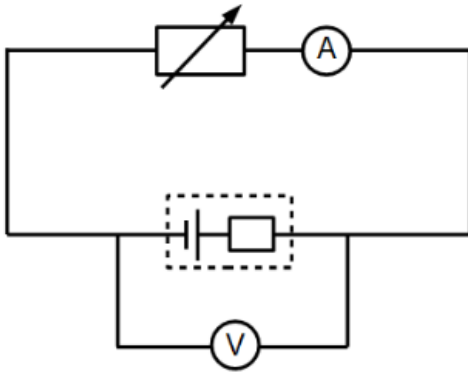
Selitä myös tutkimuksesi taustalla oleva teoria ja minkälaisia mittaustuloksia odotat saavasi. Piirrä esimerkkikuvaaja ja selitä teoriaan pohjautuen, kuinka luet pariston sisäisen resistanssin kuvaajasta. Voit piirtää kuvaajan mittaushjelmalla tai millä tahansa piirto-ohjelmalla, kunhan kuvaajasta välittyy kaikin puolin haettava näky.

Voit hyödyntää tietoa, että pariston tyypillinen sisäinen resistanssi on välillä  $0,1 \Omega \dots 2 \Omega$ , missä korkein arvo vastaa harvinaisen huonoa paristoa ja matalin arvo on myös harvinaisen. Lisäksi paristojen lähdejännite on yleensä hieman niiden ilmoitettua jännitettä suurempi.

## RATKAISU

Varustuksesta käytetään paristoa, jännite- ja virtamittaria, säätövastusta ja johtimia. Lisäksi käytetään tietokonetta mittaustietojen käsittelyyn. Muita käytössä olevia välineitä ei käytetä.

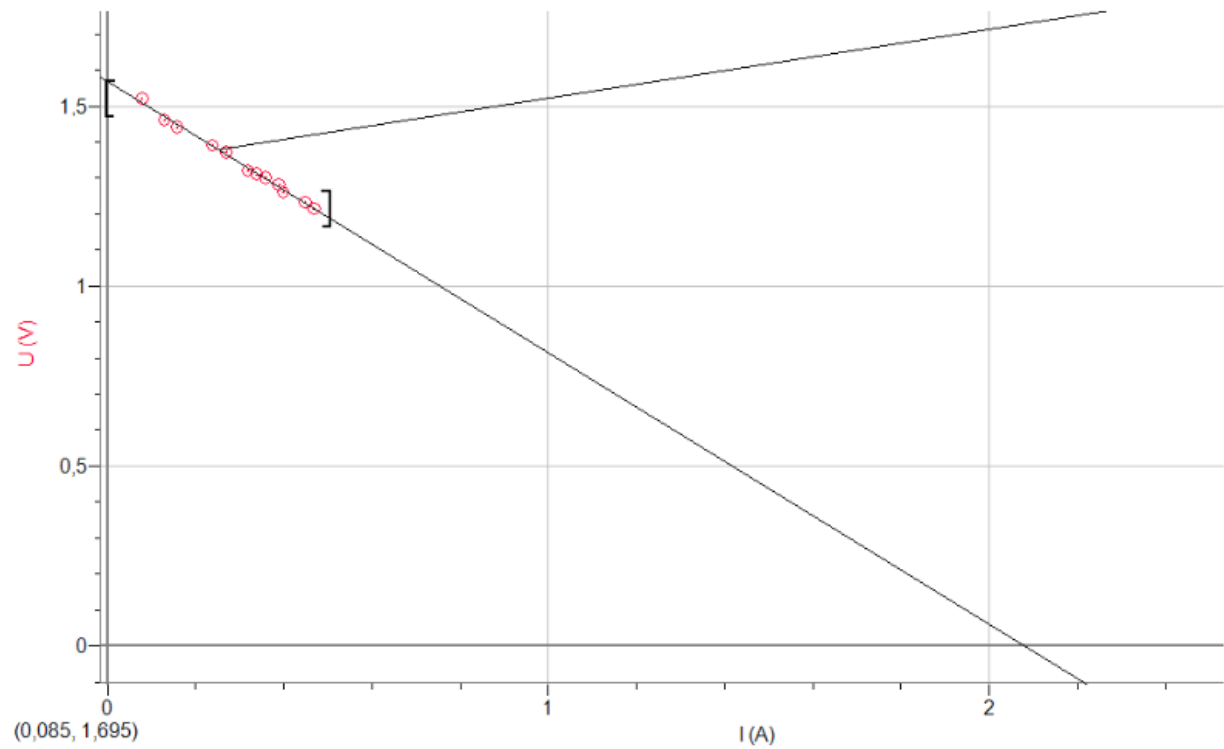
Mainitut komponentit kytketään alla olevan kytkentäkaavion mukaisesti. Paristo kattaa tässä kaaviossa katkoviivalla merkityn osan, joka koostuu ideaalisesta jännitelähteestä ja sisäisestä vastuksesta.



Merkitään pariston lähdejännitettä, napajännitettä, sisäistä resistanssia, säätövastuksen resistanssia sekä mitattavaa sähkövirtaa vastaavassa järjestyksessä  $E$ ,  $U$ ,  $R_i$ ,  $R$ ,  $I$ . Pariston ja säätövastuksen napajännitteet ovat yhtä suuret,  $U = RI$ . Kirchhoffin 2. laki, johon on sijoitettu Ohmin lain mukainen sisäisen vastuksen jännite antaa tällöin  $E - R_i I - U = 0$ . Tästä saamme kaavan, jota hyödynnämme tulosten graafisessa käsittelyssä,  $U = -R_i I + E$ .

Säätövastuksen resistanssit pidetään aluksi suurina, jolloin paristo toimii hyvin. Edellä mainitun kaavan mukaan oletamme saavamme sähkövirran ja pariston napajännitteen välille lineaarisen riippuvuuden ( $I, U$ )-koordinaatistoon. Säätövastuksen resistanssia pienennetään, jolloin sähkövirta piirissä kasvaa. Tätä jatketaan useiden mittapisteiden verran, kunnes lineaarinen riippuvuus päättyy. (Pariston sisäinen resistanssi ei ole suurilla sähkövirroilla enää vakio.) Sähkövirran ja jännitteen arvot kirjoitetaan ylös.

Mittaus voisi tuottaa seuraavanlaisen kuvaajan:



Koska teoreettinen matemaattinen malli tilanteelle noudattaa kaavaa  $U = -R_i I + E$ , luetaan sisäinen resistanssi sovitetun suoran kulmakertoimesta ja se on kulmakertoimen vastaluku.

(Kuvaajan vakio-termi antaa pariston lähdejännitteen ja leikkauskohta vaaka-akselin kanssa pariston oikosulkuvirran. Näitä ei kysy.)

#### PISTEYTYKSI

- Valittu varustukseksi paristo, jännite- ja virtamittari sekä säätövastus (2 p.)
- Myös johtimet ja tietokone mainitaan varustuksena (1 p.)
  - Jos on valittu turhia välineitä, (-1 p.)
- Kytöntäkaaviossa mitataan joko pariston tai säätövastuksen jännitettä (virtamittari saa olla sarjassa mitattavan komponentin kanssa, jännitemittarin kytköskohtien välissä) (2 p.)
- Virtamittari on kytöntäkaaviossa asetettu mihin tahansa kohtaan silmukkaa, jossa on paristo ja säätövastus (2 p.)
- Kaava tulosten käsittelyyn on kirjoitettu (2 p.)
- Kaavan perustelu: Vastauksessa perustellaan riittävän hyvin lukijalle, että pariston napajännite on yhtä suuri kuin säätövastuksen (1 p.)
- Kaavan perustelu: Ohmin laki ja Kirchhoffin 2. laki tai sitä vastaava jänniteperustelu näkyvät opettajan arvion mukaan riittävällä tasolla (2 p.)
- Menettelystä ilmenee, kuinka säätövastusta käytetään ja sen käyttö on järkevää (1 p.)
- Ilmenee, että sähkövirtojen ja jännitteiden arvot kirjataan ja kuvaajan koordinaatistoksi valitaan  $(I, U)$ -koordinaatisto tai  $(U, I)$ -koordinaatisto, jolloin tulee mainita sisäisen resistanssin olevan kulmakertoimen käänteisluvun vastaluku (2 p.)
- Kuvaaja piirretty ja siinä on akseleissa suureet ja yksiköt (sekä realistisia mittapisteitä) ja lineaarinen riippuvuus näkyy (2 p.)
- Kuvaajan pisteissä on edes hieman satunnaisvirheitä (1 p.)
- Jossain kohtaa vastausta perustellaan johdetusta kaavasta, että pariston sisäinen resistanssi luetaan kuvaajan kulmakertoimesta (1 p.) ja että se on sen vastaluku (1 p.) (2 p.)