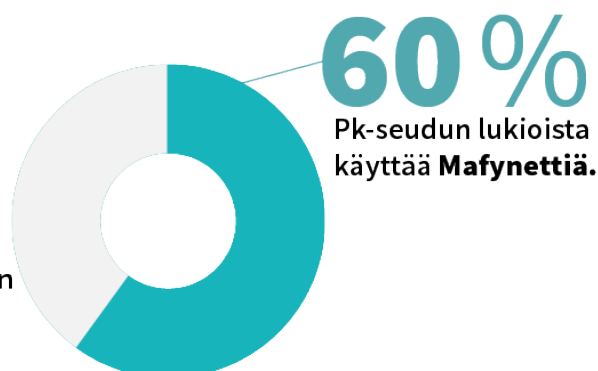
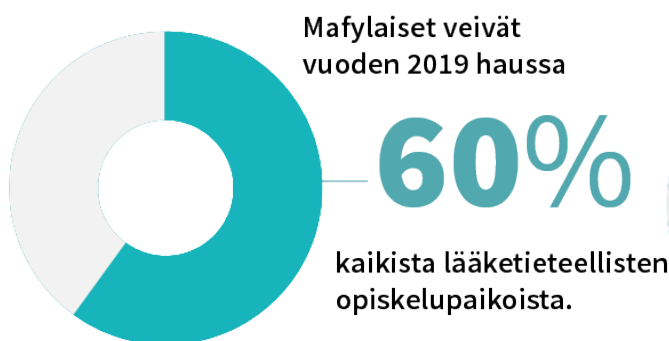




YO-MALLIVASTAUKSET FYSIKKA KEVÄT 2020

Tiesitkö tämän?



60 % PK-seudun lukioista käyttää Mafynettiä!
Mafynetti-oppimateriaaleja saa nyt myös
lukion 1. vuoden kursseille

MAFYNETTI

MALLIVASTAUSTEN TEKIJÄT:

Malliratkaisujen laatimisesta ovat vastanneet MAFY:n toinen perustaja Antti Suominen sekä MAFY:n oppimateriaalitiimi, jonka päätehtävä on laatia ja kehittää MAFY:n lukioon tarkoitettuja oppimateriaaleja.

Oppimateriaalitiimistä mukana olivat Antti Suominen lisäksi Timo Kalinainen ja Sakke Suomalainen. Lisäksi työn tukena olivat Tuomas Hauvala ja Matti Virolainen.

MAFY-VALMENNUS on Helsingissä toimiva, matematiikan ja luonnontieteiden opetukseen ja oppimateriaaleihin erikoistunut yritys.

PALVELUITAMME OVAT:

- Mafynetti - sähköinen oppimateriaali
- Lääketieteellisen valmennuskurssit
- DI-valmennuskurssit
- Yo-kokeisiin valmentavat kurssit.

Julkaisemme internet-sivuillamme kaiken palautteen, jonka asiakkaat antavat kurssleistamme. Näin varmistamme, että palveluistamme kiinnostuneilla ihmisillä on mahdollisuus saada tarkka ja rehellinen kuva siitä, mitä meiltä voi odottaa.

KÄYTTÖEHDOT

Tämä asiakirja on tarkoitettu yksityishenkilöille opiskelukäyttöön. Kopion tästä asiakirjasta voi ladata osoitteesta www.mafyvalmennus.fi. Käyttö kaikissa kaupallisissa tarkoituksissa on kielletty. Lukion fysiikan opettajana voit käyttää tätä tehtäväpakettia oppimateriaalina lukiokursseillasi. **Nämä mallivastaukset ovat MAFY Oy:n omaisuutta.**

MAFY:N YHTEYSTIEDOT:

<https://mafyvalmennus.fi/yhteydenotto>

Koetehtävät

[Klikkaa tästä nähdäksesi kokeen esikatselutilassa.](#)

Linkit malliratkaisuihin

Ratkaisu tehtävään 1	2
Ratkaisu tehtävään 2	8
Ratkaisu tehtävään 3	11
Ratkaisu tehtävään 4	13
Ratkaisu tehtävään 5	18
Ratkaisu tehtävään 6	23
Ratkaisu tehtävään 7	26
Ratkaisu tehtävään 8	29
Ratkaisu tehtävään 9	31
Ratkaisu tehtävään 10	36
Ratkaisu tehtävään 11	39

1. Monivalintatehtäviä fysiikan eri osa-alueilta (20 p.)

Kussakin videossa 1. A–1. E on kuvattu jokin mekaniikan ilmiö. Kohdissa 1.1.–1.5. valitse videoon liittyvä oikea ilmiö. Kohdissa 1.6.–1.10. valitse oikea fysikaalinen suure, joka on kuvattu kyseisessä kohdassa. Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1. Katso video 1. A. Huom.! Videossa ei ole ääntä. Videolla kuvattu ilmiö on (2 p.)

Huom! Oikeassa kokeessa on tässä kohtaa video, jonka voit katsoa [tästä linkistä](#).

- ☐ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

1.2. Katso video 1. B. Huom.! Videossa ei ole ääntä. Videolla kuvattu ilmiö on (2 p.)

Huom! Oikeassa kokeessa on tässä kohtaa video, jonka voit katsoa [tästä linkistä](#).

- ☐ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

1.3. Katso video 1. C. Huom.! Videossa ei ole ääntä. Videolla kuvattu ilmiö on (2 p.)

Huom! Oikeassa kokeessa on tässä kohtaa video, jonka voit katsoa [tästä linkistä](#).

- ☐ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

1.4. Katso video 1. D. Huom.! Videossa ei ole ääntä. Videolla kuvattu ilmiö on (2 p.)

Huom! Oikeassa kokeessa on tässä kohtaa video, jonka voit katsoa [tästä linkistä](#).

- ☐ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

1.5. Katso video 1. E. Huom.! Videossa ei ole ääntä. Videolla kuvattu ilmiö on (2 p.)

Huom! Oikeassa kokeessa on tässä kohtaa video, jonka voit katsoa [tästä linkistä](#).

- ☐ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

1.6. Suure, joka kuvaa radioaktiivisen säteilylähteen voimakkuutta, on (2 p.)

- ☐ säteilyannos
- ☐ hajoamisvakio
- ☐ aktiivisuus
- ☐ puoliintumisaika

1.7. Suure, joka kuvaa vuorovaikutuksen voimakkuutta, on (2 p.)

- ☐ intensiteetti
- ☐ nopeus
- ☐ liikemäärä
- ☐ voima

1.8. Suure, joka kuvaa johtimen kykyä vastustaa sähkövirtaa, on (2 p.)

- ☐ kapasitanssi
- ☐ resistanssi
- ☐ permittiivisyys
- ☐ potentiaali

1.9. Suure, joka kuvaa aineen kykyä ottaa vastaan ja luovuttaa energiaa lämpönä, on (2 p.)

- ☐ tiheys
- ☐ entropia
- ☐ tilavuuden lämpötilakerroin
- ☐ ominaislämpökapasiteetti

1.10. Suure, joka kuvaa hiukkasen tai kappaleen kykyä aiheuttaa tai tuntea sähköistä vuorovaikutusta, on (2 p.)

- ☐ potentiaali
- ☐ sähkökentän voimakkuus
- ☐ varaus
- ☐ jännite

Ratkaisu.

1.1.

- ☐ tasainen liike
- ☒ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

2p (yht. 2p)

Selitys: Videolla näkyy kaltevaa tasoa ylöspäin liukuva kappale, jonka liike hidastuu. Sopivin vastausvaihtoehto on siis tasaisesti kiihtyvä liike.

1.2.

- ☐ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☒ seisova aaltoliike

2p (yht. 4p)

Selitys: Videolla näkyy vieterijousi, joka aaltoilee. Aalto ei näytä etenevän jous-ta pitkin eikä värähtely näytä vaimenevan, joten sopivin vastausvaihtoehto on seisova aaltoliike.

1.3.

- ☒ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

2p (yht. 6p)

Selitys: Videolla näkyy vaakasuoraa tasoa pitkin liukuva kappale, jonka nopeus ei näytä muuttuvan. Sopivin vastausvaihtoehto on siis tasainen liike.

1.4.

- ☐ tasainen liike
- ☒ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☐ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

2p (yht. 8p)

Selitys: Videolla näkyy kaltevaa tasoa pitkin alaspäin liukuva kappale, jonka vauhti näyttää kasvavan. Sopivin vastausvaihtoehto on siis tasaisesti kiihtyvä liike.

1.5.

- ☐ tasainen liike
- ☐ tasaisesti kiihtyvä liike
- ☒ vaimeneva värähdysliike
- ☐ seisova aaltoliike

2p (yht. 10p)

Selitys: Videolla näkyy kahteen kuminauhaan kiinnitetty edestakaisin värähtelevä kappale, jonka värähtelyn amplitudi pienenee ajan myötä. Sopivin vastausvaihtoehto on siis vaimeneva värähdysliike.

1.6.

- ☐ säteilyannos
- ☐ hajoamisvakio
- ☒ aktiivisuus
- ☐ puoliintumisaika

2p (yht. 12p)

Selitys: Säteilyannos ei kuvaa säteilylähdettä, vaan tietyn kohteen (esimerkiksi ihmisen) vastaanottaman säteilyenergian määrää. Hajoamisvakio ja puoliintumisaika ovat radioaktiivisen aineen ominaisuuksia. Aktiivisuus kuvaa sitä, kuinka monta hajoamista säteilylähteessä tapahtuu aikayksikössä. Sopivin vaihtoehto on siis aktiivisuus.

1.7.

- ☐ intensiteetti
- ☐ nopeus
- ☐ liikemäärä
- ☒ voima

2p (yht. 14p)

1.8.

- ☐ kapasitanssi
- ☒ resistanssi
- ☐ permittiivisyys
- ☐ potentiaali

2p (yht. 16p)

1.9.

- ☐ tiheys
- ☐ entropia
- ☐ tilavuuden lämpötilakerroin
- ☒ ominaislämpökapasiteetti

2p (yht. 18p)

1.10.

- ☐ potentiaali
- ☐ sähkökentän voimakkuus
- ☒ varaus
- ☐ jännite

2p (yht. 20p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa.

2. Laatikko ja punnus (15 p.)

Kuva 2. A esittää vaakasuoralla radalla olevaa laatikkoa, jota vedetään lankaan ripustetulla punnuksella. Laatikon ja radan välillä vallitsee kitka. Laatikko lähtee levosta ja pysähtyy, kun se osuu radan pätyyn. Jos punnuksen massa on pieni laatikon massa nähden, laatikko ei lähde liikkeelle. Lanka on kevyt, ja väkipyörä on herkkäliikkeen. Kuvan 2. A tilannetta mallinnetaan simulaatiolla 2. B.

Aineisto:

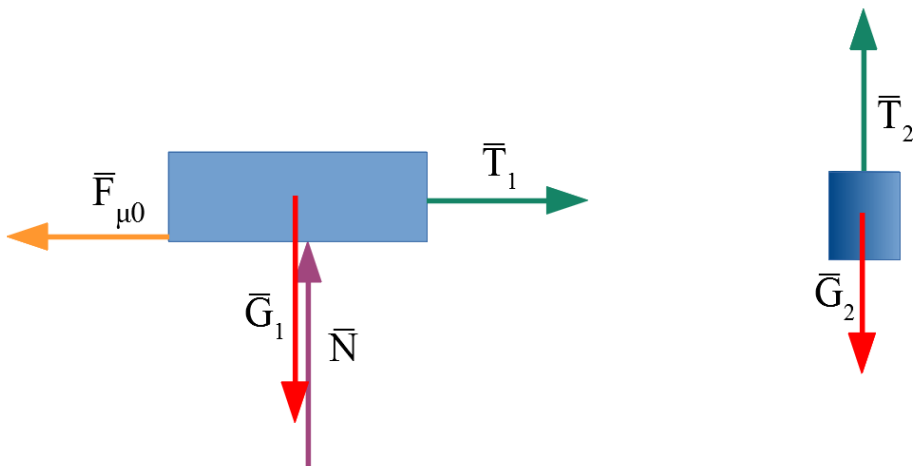
- 2.A [Kuva: Simulaatiossa mallinnettava järjestely](#)
- 2.B [Simulaatio: Laatikon kulkema matka ja nopeus ajan funktiona](#)

2.1. Piirrä laatikon ja punnuksen voimakuviot tilanteessa, kun laatikko ei liiku. (6 p.)

2.2. Määritä laatikon ja radan välinen lepokitkakerroin simulaation avulla. (9 p.)

Ratkaisu.

2.1.



$\overline{G}_1$	laatikon paino
$\overline{N}$	radan laatikkoon kohdistama tukivoima
$\overline{T}_1$	langan laatikkoon kohdistama voima
$\overline{F}_{\mu 0}$	lepokitka
$\overline{G}_2$	punnuksen paino
$\overline{T}_2$	langan punnukseen kohdistama voima

6p (yht. 6p)

2.2. Merkitään laatikon massaa m_1 :llä ja punnuksen massaa m_2 :lla. Kun laatikko ei liiku, punnuskaan ei liiku. Newtonin toisen lain mukaan

$$\overline{T}_2 + \overline{G}_2 = \overline{0}$$

$$T_2 - G_2 = 0$$

$$T_2 = m_2 g$$

1p (yht. 1p)

Lanka on kevyt, joten langan jännitysvoima on sen molemmissa päissä yhtä suuri, eli

$$T_2 = T_1$$

Laatikko ei liiku vaakasuunnassa, joten Newtonin toisen lain mukaan

$$\overline{T}_1 + \overline{F}_{\mu 0} = \overline{0}$$

$$T_1 - F_{\mu 0} = 0$$

$$F_{\mu 0} = T_1 = T_2 = m_2 g$$

1p (yht. 2p)

(1)

Rajatapauksessa laatikko pysyy juuri ja juuri paikoillaan. Tällöin lepokitka on täysin kehittynyttä. Täysin kehittyneen lepokitkan suuruus riippuu pinnan tukivoimasta ja lepokitkakertoimesta, eli

$$F_{\mu 0} = \mu_0 N$$

1p (yht. 3p)

(2)

Laatikko ei liiku pystysuunnassa, joten Newtonin toisen lain mukaan

$$\overline{N} + \overline{G}_1 = \overline{0}$$

$$N - G_1 = 0$$

$$N = m_1 g$$

1p (yht. 4p)

(3)

Yhdistämällä yhtälöt (1), (2) ja (3) saadaan

$$\begin{aligned}\mu_0 m_1 g &= m_2 g \\ \mu_0 &= \frac{m_2}{m_1} \quad \text{1 p (yht. 5p)}\end{aligned}$$

Simulaatiossa kokeilemalla selviää sellaiset m_1 ja m_2 , joilla laatikko pysyy juuri ja juuri paikoillaan. Esimerkiksi kun $m_1 = 1,500 \text{ kg}$ ja $m_2 = 0,511 \text{ kg}$ laatikko lähtee liikkeelle, mutta arvolla $m_2 = 0,510 \text{ kg}$ laatikko ei lähdä liikkeelle.

2p (yht. 7p) Lepokitkakertoimen arvo on tällöin

$$\begin{aligned}\mu_0 &= \frac{m_2}{m_1} = \frac{0,510 \text{ kg}}{1,500 \text{ kg}} \\ &= 0,34\end{aligned}$$

Vastaus: Lepokitkakertoimen arvo on $\mu_0 = 0,34$. 2p (yht. 9p)

Pisteytyksestä: Simulaatiossa voi käyttää muitakin lukuarvoja laatikon ja punnuksen massoille.

3. Merenpinnan nousu (15 p.)

Maapallon valtameret lämpenevät ilmastonmuutoksen seurauksena. Tämä aiheuttaa merenpinnan nousua, joka 2000-luvulla on ollut suuruudeltaan noin 3 millimetriä vuodessa. Yksi syy merenpinnan nousuun on veden lämpölaajeneminen.

Merien vuodessa keräämän lämpömäärän on arvioitu olevan noin $1,3 \cdot 10^{22}$ J. Kuinka paljon merien keskimääräinen lämpötila kohoaa vuodessa? Entä kuinka suuri on lämpölaajenemisen aiheuttama merenpinnan korkeuden muutos vuodessa? Meriveden ominaisuudet riippuvat paineesta, lämpötilasta sekä suolapitoisuudesta, joten käytetään taulukossa 3. A annettuja, keskiarvoistettuja arvoja.

Aineisto:

3.A [Taulukko: Tehtävässä tarvittavien suureiden keskimääräisiä arvoja](#)

Ratkaisu.

$Q = 1,3 \cdot 10^{22}$	merien vuodessa keräämä lämpömäärä
$c = 3,96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	meriveden ominaislämpökapasiteetti
$A = 3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2$	merien pinta-ala
$h = 3700 \text{ m}$	merien syvyys
$\rho = 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	meriveden tiheys
$\gamma = 1,37 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{K}}$	meriveden tilavuuden lämpölaajenemiskerroin

Meriveden keskilämpötilan vuotuinen muutos voidaan laskea yhtälöstä

$$Q = cm\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{cm} \quad \text{2p (yht. 2p)}$$

Meriveden massa m voidaan laskea meriveden tiheyden ja tilavuuden avulla. Maapallon meret voidaan olettaa lieriöksi, jonka pohjan pinta-ala on $A = 3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2$ ja korkeus on $h = 3700 \text{ m}$. Meriveden massa on siis $m = \rho V = \rho Ah$. Sijoitetaan tämä lämpötilan muutoksen yhtälöön

$$\Delta T = \frac{Q}{c\rho Ah} \quad \text{2p (yht. 4p)}$$

$$= 0,002393 \dots \text{ K}$$

$$\approx 2,4 \text{ mK} \quad \text{2p (yht. 6p)}$$

Meriveden lämpölaajeneminen johtaa merenpinnan nousuun, sillä merivesi voi laajeta vain ylöspäin. Merenpinnan korkeuden muutos voidaan laskea tilavuuden muutoksesta $\Delta V = A\Delta h$. 2p (yht. 8p) Tilavuuden muutos lämpölaajenemisessa on

$$\Delta V = \gamma V \Delta T$$
 2p (yht. 10p)

Sijoitetaan tähän yhtälöön $\Delta V = A\Delta h$ ja $V = Ah$.

$$A\Delta h = \gamma Ah \Delta T$$

$$\Delta h = \gamma h \Delta T$$
 3p (yht. 13p)

$$= 1,21291 \dots \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\approx 1,2 \text{ mm}$$
 2p (yht. 15p)

Vastaus: Merien keskimääräinen lämpötila kohoaa vuodessa 2,4 mK. Lämpölaajenemisesta johtuva merenpinnan korkeuden muutos on 1,2 mm vuodessa.

4. Pimeässä huoneessa (15 p.)

Pimeässä huoneessa tehdään kokeita laservalolla käyttäen kuvan 4. A koejärjestelyä. Kuvassa L on laser ja G tutkittava kohde. Tarkastellaan varjostimelle S tullutta valoa. Etäisyys kohteesta varjostimelle on paljon suurempi kuin käytetyn valon aallonpituus.

Kohdissa 4.2.–4.6. valitse tilanteeseen parhaiten soveltuva vaihtoehto. Oikea vastaus 3 p. / 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p. Jos olet aloittanut tehtävään vastaamisen, mutta et haluakaan jättää tehtävää arvosteltavaksi, merkitse jokaiseen kohtaan vaihtoehto "En vastaa" ja tyhjennä vastauskenttä 4.1.

Aineisto:

4.A [Kuva: Koejärjestely](#)

4.B [Kuva: Valokuvio](#)

- 4.1. Käytetään punaista laservaloa ja kohteeksi asetetaan hila. Hilassa on monta hyvin kapeaa rakoa, jotka ovat etäisyydellä a toisistaan. Tällöin varjostimelle syntyy kuvassa 4. B esitetty valokuvio. Mistä ilmiöstä on kyse? Vastausta ei tarvitse perustella. (3 p.)
- 4.2. Varjostin siirretään kaksinkertaiselle etäisyydelle hilasta. Miten varjostimella havaittu kuvio muuttuu? (2 p.)
- ☐ Punaiset täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
 - ☐ Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.
 - ☐ Punaiset täplät pysyvät paikoillaan.
 - ☐ Reunimmaiseta punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.
 - ☐ En vastaa.
- 4.3. Palautetaan kohdan 4.1. lähtötilanne. Siirretään laser sen jälkeen kaksinkertaiselle etäisyydelle kohteesta. Miten varjostimella havaittu kuvio muuttuu? (2 p.)
- ☐ Punaiset täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
 - ☐ Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.
 - ☐ Punaiset täplät pysyvät paikoillaan.
 - ☐ Reunimmaiseta punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.

☐ En vastaa.

4.4. Käytetään samaa laservaloa ja samoja etäisyyksiä kuin kohdassa 4.1., mutta kohteeksi asetetaan levy, jossa on vain kaksi hyvin kapeaa rakoa. Rakojen välinen etäisyys on a . Miten varjostimella havaittu kuvio muuttuu? (2 p.)

- ☐ Varjostimella ei nähdä ollenkaan valoa.
- ☐ Varjostimella nähdään vain yksi punainen täplä.
- ☐ Varjostimella nähdään kaksi punaista täplää.
- ☐ Varjostimella nähdään samankaltainen kuvio kuin kohdassa 4.1.
- ☐ En vastaa.

4.5. Käytetään samaa laservaloa ja samoja etäisyyksiä kuin kohdassa 4.1., mutta kohteeksi valitaan toinen hila, jossa vierekkäisten rakojen välimatka on puolet alkuperäisen hilan rakojen välimatkasta eli $\frac{1}{2}a$. Miten varjostimella havaittu kuvio muuttuu? (3 p.)

- ☐ Punaiset täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
- ☐ Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.
- ☐ Punaiset täplät pysyvät paikoillaan.
- ☐ Reunimmaisets punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.
- ☐ En vastaa.

4.6. Käytetään samoja etäisyyksiä ja samaa hilaa kuin kohdassa 4.1., mutta punainen laservalo korvataan vihreällä laservalolla. Miten varjostimella havaittu kuvio muuttuu? (3 p.)

- ☐ Täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
- ☐ Täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.
- ☐ Täplät pysyvät paikoillaan.
- ☐ Reunimmaisets punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.
- ☐ En vastaa.

Ratkaisu.

4.1. Ilmiössä on kyse diffraktiosta 2p (yht. 2p) sekä interferenssistä. 1p (yht. 3p) Valo diffraktoituu, eli taipuu läpäistessään hilan. Tämän seurauksena varjostimella toisissa kohdissa tapahtuu vahvistava interferenssi ja toisissa heikentävä interferenssi. Valotäplät nähdään niissä kohdissa, missä interferenssi on vahvistava.

4.2.

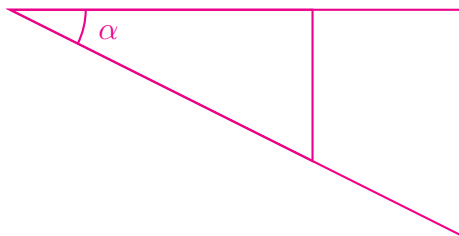
- ☐ Punaiset täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
- ☒ Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.
- ☐ Punaiset täplät pysyvät paikoillaan.
- ☐ Reunimmaisiet punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.
- ☐ En vastaa.

2p (yht. 5p)

Selitys: Hilayhtälön mukaan

$$\sin(\alpha) \cdot a = k\lambda,$$

missä α on valon taipumiskulma, a on rakojen välinen etäisyys, $k = 0, 1, 2, \dots$ on intensiteettimaksimien kertaluku ja λ on valon (laserin) aallonpituus. Näin ollen varjostimen liikuttaminen ei vaikuta intensiteettimaksimeja vastaaviin taipumiskulmiin, joten ne pysyvät samana. Koska varjostin siirtyy kauemmaksi, myös punaisten täplien välinen etäisyys kasvaa.



4.3.

- ☐ Punaiset täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
- ☐ Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.

- ☒ Punaiset täplät pysyvät paikoillaan.
- ☐ Reunimmaiset punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.
- ☐ En vastaa.

2p (yht. 7p)

Selitys: Laser on yhdensuuntaista valoa, joten laserin liikuttaminen lähemmäksi tai kauemmaksi ei vaikuta siihen, minkälainen lasersäde hilaan osuu, joten interferenssikuvio pysyy muuttumattomana.

4.4.

- ☐ Varjostimella ei nähdä ollenkaan valoa.
- ☐ Varjostimella nähdään vain yksi punainen täplä.
- ☐ Varjostimella nähdään kaksi punaista täplää.
- ☒ Varjostimella nähdään samankaltainen kuvio kuin kohdassa 4.1.
- ☐ En vastaa.

2p (yht. 9p)

Selitys: Kirkkaimpien täplien paikat ovat samat riippumatta siitä, onko rakoja kaksi vai enemmän.

4.5.

- ☐ Punaiset täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
- ☒ Punaiset täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.
- ☐ Punaiset täplät pysyvät paikoillaan.
- ☐ Reunimmaiset punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.
- ☐ En vastaa.

3p (yht. 12p)

Selitys: Kohdassa 2 mainitun hilayhtälön nojalla jos rakojen välimatka muuttuu pienemmäksi, taipumiskulman sini kasvaa, eli taipumiskulma kasvaa. Eri k :n arvoja vastaavat taipumiskulmat siis muuttuvat suuremmiksi, eli täplät siirtyvät kauemmaksi toisistaan.

4.6.

- ☒ Täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.
- ☐ Täplät siirtyvät kauemmas toisistaan.
- ☐ Täplät pysyvät paikoillaan.
- ☐ Reunimmaisiet punaiset täplät häviävät, mutta täplien välimatkat varjostimella eivät muutu.
- ☐ En vastaa.

3p (yht. 15p)

Selitys: Vihreän laservalon aallonpituus λ on pienempi kuin punaisen, joten kohdassa 2 mainitun hilayhtälön nojalla taipumiskulman sini on pienempi, joten myös taipumiskulma on pienempi. Eri k :n arvoja vastaavat taipumiskulmat siis pienenevät, eli täplät siirtyvät lähemmäs toisiaan.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa.

5. Kiertokäämimittari (15 p.)

Kiertokäämimittarin toiminta perustuu käämiin kohdistuvaan vääntöön magneetikentässä. Kiertokäämimittarilla voidaan mitata sähkövirtaa tai jännitettä halutulla mittausalueella kytkemällä mittarissa olevan käämin rinnalle tai sen kanssa sarjaan sopiva vastus. Kuvat 5. A ja 5. B esittävät eri mittausalueille asetettua kiertokäämimittaria ja vastaavaa mittarin sisäistä vastuskytkentää. Kun mittari näyttää maksimiarvoa, mittarin käämin läpi kulkee $0,10\text{ mA}$ sähkövirta. Käämin resistanssi on $360\ \Omega$.

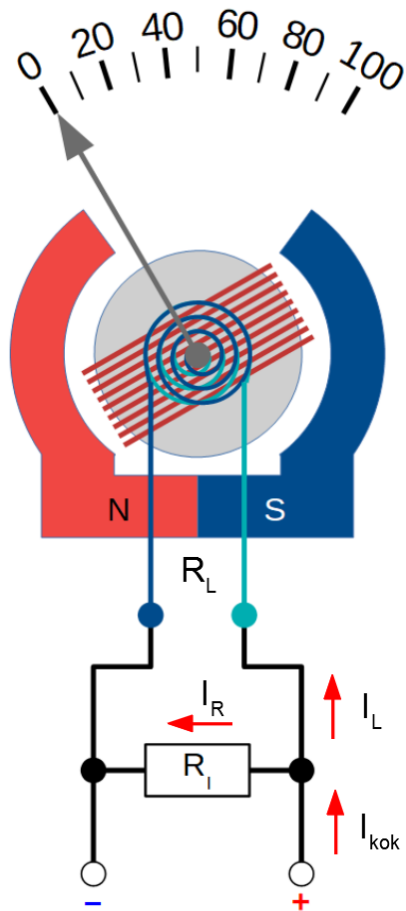
Aineisto:

- 5.A [Kuva: Kiertokäämimittari ja sen kytkentä sähkövirran mittauksessa](#)
- 5.B [Kuva: Kiertokäämimittari ja sen kytkentä jännitteen mittauksessa](#)

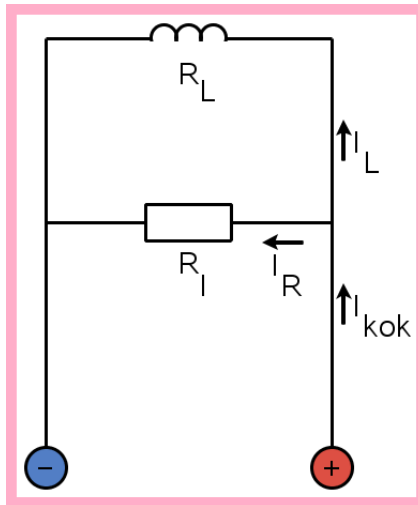
- 5.1. Kuinka suuri vastuksen R_I resistanssin pitää olla, kun mitataan sähkövirtaa alueella $0 \dots 100\text{ mA}$? Anna vastaus kahden merkitsevän numeron tarkkuudella. (8 p.)
- 5.2. Kuinka suuri vastuksen R_U resistanssin pitää olla, kun mitataan jännitettä alueella $0 \dots 1\text{ V}$? Anna vastaus kahden merkitsevän numeron tarkkuudella. (7 p.)

Ratkaisu.

- 5.1. Merkitään mittarissa kulkevat virrat sekä käämin vastus mittarin mallikuvaan.



Vaihtoehtoisesti voidaan piirtää uusi kuva mittaria vastaavasta kytkentäkaavios-
ta. Käämiä voidaan tarkastella vastuksena, sillä vain sen resistanssilla on tehtä-
vän kannalta merkitystä.



Tarkastellaan tilannetta, jossa mittarissa ja käämissä kulkee suurimmat tehtävänannossa ilmoitetut virrat. Tällöin tiedetään lukuarvot

$$R_L = 360 \, \Omega$$

$$I_L = 0,10 \, \text{mA}$$

$$I_{\text{kok}} = 100 \, \text{mA}.$$

Kirchoffin ensimmäisen lain nojalla saadaan virroille yhtälö

$$I_{\text{kok}} = I_R + I_L$$

$$I_R = I_{\text{kok}} - I_L \quad \text{2p (yht. 2p)} \quad (1)$$

Käämi ja vastus R_I on kytketty rinnan. Näin ollen molempien yli on sama jännite U , mikä on mittarin napoihin kytketty jännite. Ohmin lain nojalla saadaan

$$R_I \cdot I_R = R_L \cdot I_L \quad \text{2p (yht. 4p)}$$

Sijoitetaan yhtälö (1)

$$R_I \cdot (I_{\text{kok}} - I_L) = R_L \cdot I_L$$

$$R_I = \frac{R_L \cdot I_L}{I_{\text{kok}} - I_L} \quad \text{2p (yht. 6p)}$$

$$= 0,360360 \dots \, \Omega$$

$$\approx 0,36 \, \Omega$$

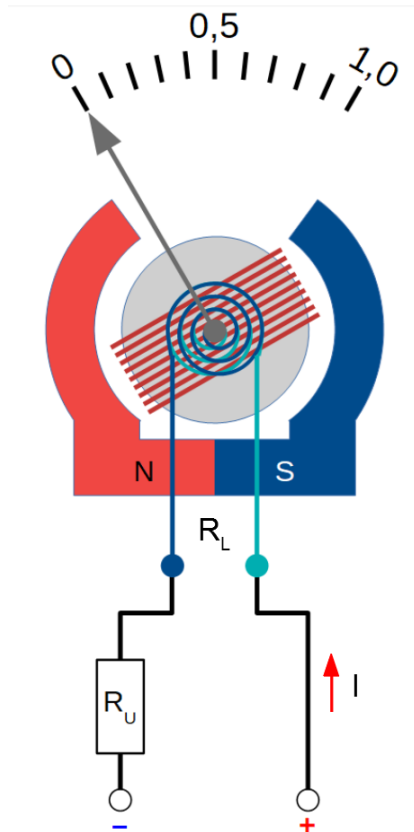
Voidaan perustella myös Kirchhoffin toisen lain avulla. Kiertämällä käämin ja vastuksen muodostaman suljetun silmukan ympäri potentiaalin muutosten summa on nolla, eli

$$R_I \cdot I_R - R_L \cdot I_L = 0$$

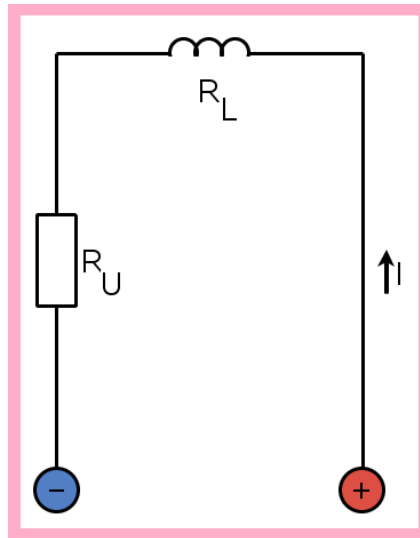
$$R_I \cdot I_R = R_L \cdot I_L$$

Vastaus: Vastuksen R_I resistanssin pitää olla $0,36 \Omega$. 2p (yht. 8p)

5.2. Merkitään mittarissa kulkeva virta ja käämin vastus mittarin mallikuvaan.



Vaihtoehtoisesti voidaan piirtää uusi kuva mittaria vastaavasta kytkentäkaaviosta. Käämiä voidaan tarkastella vastuksena, sillä vain sen resistanssilla on tehtävän kannalta merkitystä.



Tarkastellaan tilannetta, missä mittarin yli on kytketty suurin mitattava jännite eli 1 V. Tällöin tiedetään lukuarvot

$$R_L = 360 \, \Omega$$

$$I = 0,10 \, \text{mA}$$

$$U = 1 \, \text{V}.$$

Käämi ja vastus R_U on kytketty sarjaan. Merkitään jännitemittarin napojen yli kytkettyä jännitettä U :lla. Kirchhoffin toisen lain mukaan tämä on yhtä suuri kuin käämissä ja vastuksessa tapahtuvien jännitehäviöiden summa, eli

$$\sum \Delta U = 0$$

$$U - R_L \cdot I - R_U \cdot I = 0 \quad \text{4p (yht. 4p)}$$

$$R_U = \frac{U - R_L \cdot I}{I} \quad \text{1p (yht. 5p)}$$

$$= 9640 \, \Omega$$

$$\approx 9,6 \, \text{k}\Omega$$

Vastaus: Vastuksen R_U resistanssin pitää olla 9,6 kΩ. 2p (yht. 7p)

Pisteytyksestä: Vastauksen voi antaa myös muodossa 9600 Ω.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa.

6. Hyppy ilman laskuvarjoa (15 p.)

Helsingin Sanomat julkaisi tiedesivuillaan 10.8.2016 uutisen (teksti 6. A) Luke Aikinsin ilman laskuvarjoa tekemästä hypystä. Hypystä kuvatusta videosta on poimittu hyppääjän korkeus ajan funktiona (mittausaineisto 6. B). Ajan mittaaminen alkoi hyppääjän poistuttua lentokoneesta. Vastaa tehtäviin 6.1. ja 6.2. olettaen hyppääjän massaksi varusteiden kanssa 95 kg.

Aineisto:

6.A [Teksti: *Helsingin Sanomien* uutinen hypystä](#)

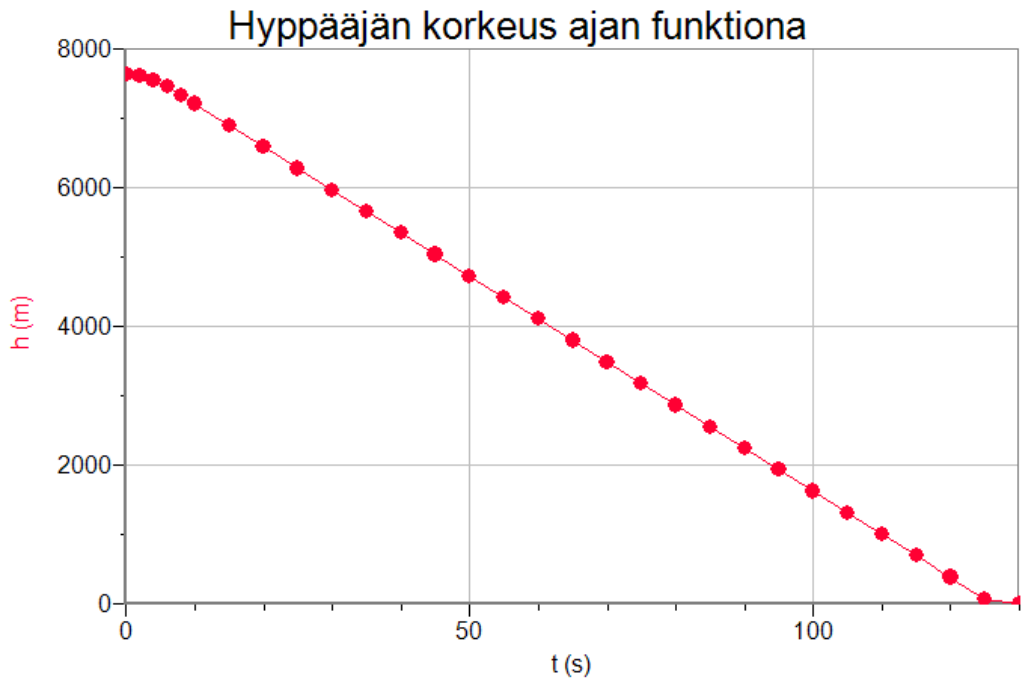
6.B [Mittausaineisto: Hyppääjän korkeus ajan funktiona](#)

- 6.1. Piirrä kuvaaja hyppääjän korkeudesta ajan funktiona. Kuinka suuri on hyppääjän kohdistuva ilmanvastus, kun hän on 3 800 metrin korkeudessa? (8 p.)
- 6.2. Tarkastele perustellen, mitä energiaan liittyviä virheellisyyksiä tekstissä 6. A esitetään. (7 p.)

Ratkaisu.

6.1.

$$m = 95 \text{ kg}$$
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$



4p (yht. 4p)

Korkeuden kuvaajan fysikaalinen kulmakerroin pysyy hyvällä tarkkuudella vakiona, kun hyppääjä on korkeudella 3800 m, joten hyppääjän nopeus on siis vakio. Näin ollen hyppääjän kiihtyvyys on siis hyvällä tarkkuudella nolla. 1p (yht. 5p)

Hyppääjään vaikuttaa painovoima $\vec{G}$ alaspäin sekä ilmanvastusvoima $\vec{F}_i$ ylöspäin. Newtonin toisen lain nojalla saadaan

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{G} + \vec{F}_i = \vec{0}$$

$$G - F_i = 0$$

$$F_i = G$$

$$F_i = mg$$

$$= 931,95 \text{ N}$$

$$\approx 930 \text{ N.}$$

2p (yht. 7p)

Vastaus: Korkeudella 3800 m hyppääjään kohdistuvan ilmanvastuksen suuruus on 930 N. 1p (yht. 8p)

6.2. Lehtiartikkelissa puhutaan energiasta, mutta käytetään sellaisia sanoja energian yhteydessä, jotka eivät ole fysikaalisesti ajatellen täsmälleen oikein. Puhutaan energian "syntymisestä" ja energian "heijastumisesta". Tehtävässä haettiin näiden huomaamista ja korjaamista.

1) "Vapaassa pudotuksessa syntyy paljon liike-energiaa". Tämä lause on fysikaalisesti virheellinen. Täsmällisemmin sanottuna liike-energiaa ei synny, vaan hyppääjän potentiaalienergiaa muuttuu hyppääjän liike-energiaksi. 3p (yht. 3p) **Kaikki hyppääjän potentiaalienergia ei muutu liike-energiaksi, vaan suuri osa siitä siirtyy ilman molekyyleille hyppääjän törmätessä ilman molekyyleihin pudotessaan.**

2) "kineettinen energia heijastuu maasta takaisin kehoon ja murskaa sen." Tämä lause on fysikaalisesti virheellinen. Fysiikassa ei ole sellaista käsitettä kuin energian heijastuminen. Täsmällisemmin sanottuna maanpinta kohdistaa kehon maahan osuvaan kohtaan suuren kosketusvoiman, jota kehon rakenne ei kestä ja keho menee rikki. 4p (yht. 7p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa.

7. Putoava sauvamagneetti (15 p.)

Sauvamagneetti pudotetaan käämin läpi kuvan 7. A mukaisesti. Käämissä on 500 kierrosta kuparilankaa. Käämin sähkövirta mitataan magneetin putoamisen aikana. Mittaustulokset on annettu mittaustulosteissa 7. B.

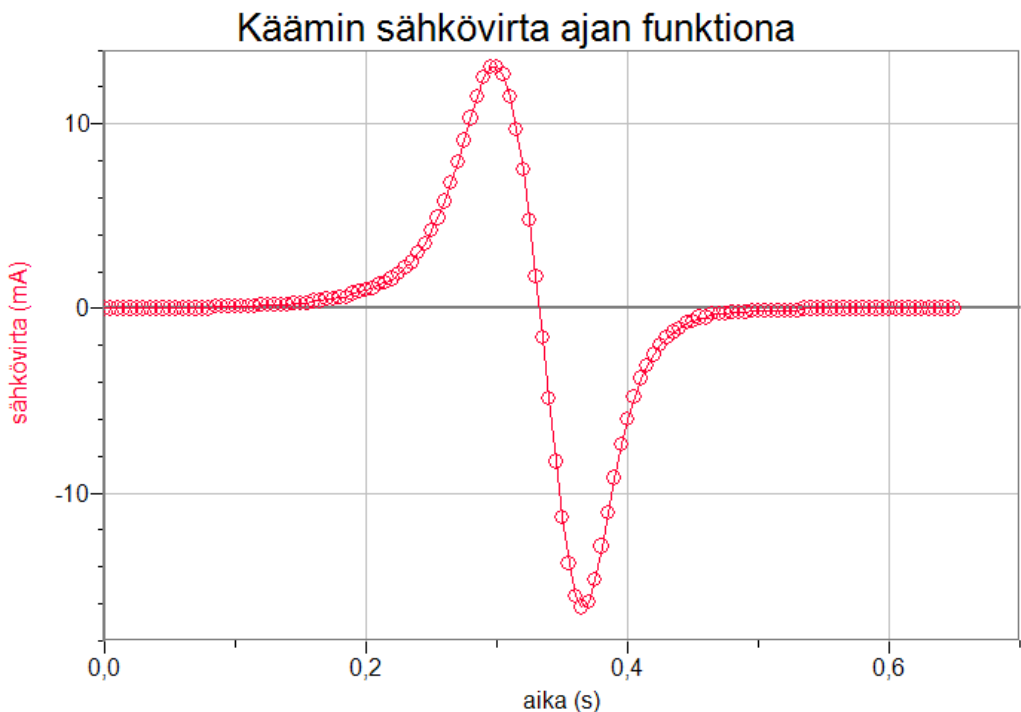
Aineisto:

- 7.A [Kuva: Sauvamagneetti pudotetaan käämin läpi](#)
7.B [Mittaustuloste: Käämin sähkövirta ajan funktiona](#)

- 7.1. Piirrä kuvaaja käämin sähkövirrasta ajan funktiona. Miksi käämissä kulkee sähkövirta, kun sauvamagneetti pudotetaan käämin läpi? (7 p.)
7.2. Vertaile toisiinsa käämin läpi kulkenutta kokonaissähkövarauksen suuruutta ensimmäisen ja toisen virtapiikin aikana. (8 p.)

Ratkaisu.

7.1.



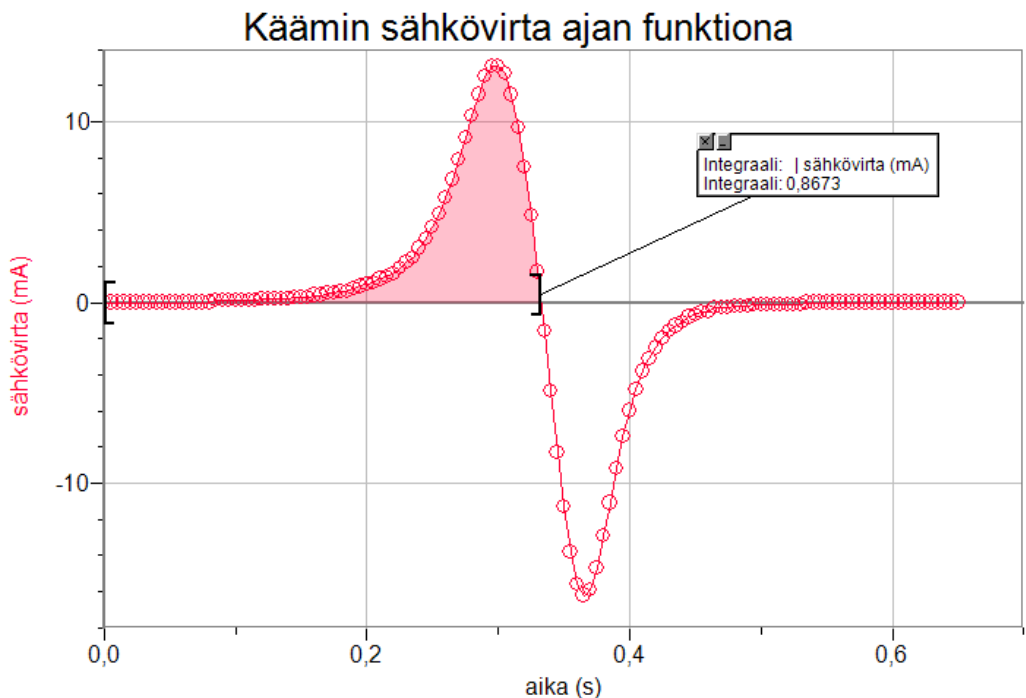
4p (yht. 4p)

Sauvamagneetin aiheuttama magneettikenttä läpäisee käämin poikkipinta-alan, eli sauvamagneetti aiheuttaa käämin läpi magneettivuon. Kun sauvamagneetti on putoamassa käämin sisään, käämin läpäisevä magneettivuo kasvaa ja kun sauvamagneetti on putoamassa käämin sisältä pois, käämin läpäisevä magneettivuo pienenee. 1p (yht. 5p) Faradayn induktiolain nojalla käämin päiden välille indusoituu jännite. 1p (yht. 6p) Käämi on kytketty virtamittariin, joten se on osa suljettua virtapiiriä ja piirissä alkaa indusoituneen jännitteen seurauksena kulkea virta. 1p (yht. 7p)

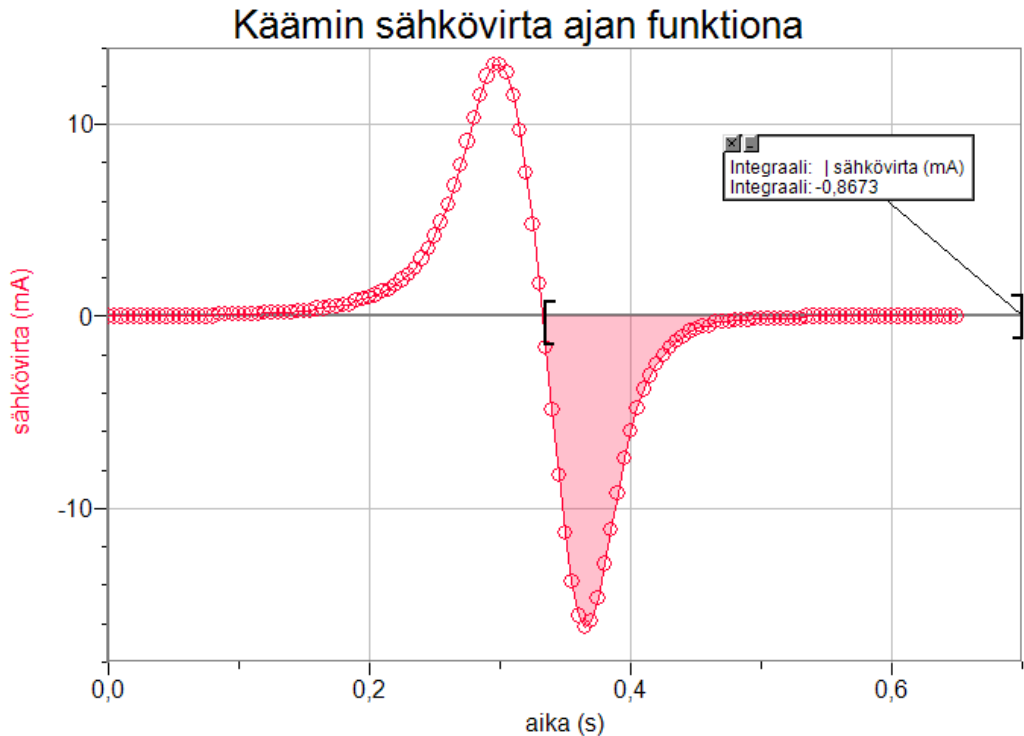
7.2. Käämin läpi kulkeva virta on

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

joten käämin läpi kulkenut varaus saadaan sähkövirran kuvaajan ja aika-akselin rajoittamasta fysikaalisesta pinta-alasta. 1p (yht. 2p) Selvitetään käämin läpi kulkenut varaus ensimmäisen virtapiikin aikana.



Ensimmäisen piikin aikana siirtynyt kokonaisvaraus on 0,8673 mC. 3p (yht. 5p) Selvitetään vastaavasti toisen piikin aikana siirtynyt sähkövaraus.



Toisen piikin aikana siirtynyt kokonaisvaraus on myös 0,8673 mC. 2p (yht. 7p) Näin ollen ensimmäisen ja toisen piikin aikana siirtyneet kokonaissähkövaraukset ovat keskenään yhtäsuuret. 1p (yht. 8p)

Pisteytyksestä: Saatujen varausten arvojen ei tarvitse olla juuri nämä, sillä ne riippuvat hieman siitä, kuinka tarkasti integroimisrajat valittiin ja mitä ohjelmaa käytettiin.

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa.

8. Röntgensäteily (15 p.)

Kuvassa 8. A on esitetty molybdeenianodisen röntgenputken tuottaman säteilyn spektri, kun kiihdytysjännitteen arvo on 28 kV.

Aineisto:

8.A [Kuva: Röntgenputken säteilyn spektri](#)

8.1. Selitä, miten röntgensäteilyä syntyy röntgenputkessa. (8 p.)

8.2. Röntgendiffraktiota voidaan käyttää aineen rakenteen selvittämiseen. Mihin röntgendiffraktio perustuu? Mitä röntgendiffraktiolla saadaan selville ja millaista ainetta sillä voidaan tutkia? (7 p.)

Ratkaisu.

8.1. Röntgenputkessa katodilta irronneita elektroneja kiihdytetään sähkökentän avulla kohti anodia. 3p (yht. 3p)

Törmätessään anodiin elektronit jarruuntuvat voimakkaasti, minkä seurauksena ne lähettävät röntgensäteilyä. Tätä kutsutaan jarrutussäteilyksi. 2p (yht. 5p)

Lisäksi elektronit voivat ionisoida tai virittää anodin materiaalin atomeja, minkä seurauksena anodin materiaalin atomit jäävät virittyneeseen tilaan. Viritystilan purkautuessa atomi lähettää röntgenkvantin. Tätä viritystilojen purkautumisen seurauksena syntyvää säteilyä kutsutaan karakteristiseksi röntgensäteilyksi, eli ominaisäteilyksi. 3p (yht. 8p)

8.2. Röntgendiffraktio perustuu röntgensäteilyn (sähkömagneettista säteilyä) vuorovaikutukseen tutkittavan aineen elektronien kanssa sekä röntgensäteilyn interferenssiin. Röntgensäteily siroaa kiteisen aineen hilarakenteesta ja sironnut röntgensäteily interferoi muodostaen mitattavan interferenssikuvion. 3p (yht. 3p)

Tutkittavan aineen kiderakenne vaikuttaa röntgendiffraktiossa syntyvään interferenssikuvioon, joten interferenssikuvion mittauksella saadaan tietoa tutkittavan aineen kiderakenteesta, eli siitä, miten atomit ovat järjestäytyneet aineessa (esim. hilatasojen välinen etäisyys). 2p (yht. 5p) Saadaan selville myös esim. elektronitiheys ja atomien väliset sidokset.

Röntgendiffraktion avulla voidaan tutkia ainetta, jolla on riittävän säännöllinen kiderakenne, josta saadaan mittaamista varten riittävän selkeä interferenssiku-
vio. 2p (yht. 7p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa.

9. Ionin ominaisvarauksen määrittäminen (20 p.)

Selosta jokin menetelmä, jolla tuntemattoman ionin ominaisvaraus eli ionin varauksen ja massan suhde voidaan määrittää kokeellisesti. Kerro, mitä laitteistoja käytetään ja minkä suureiden arvot täytyy mitata tai tuntea. Johda yhtälö, jonka avulla ionin ominaisvaraus lasketaan mitatuista suureista. Mitkä tekijät koejärjestelyssä vaikuttavat oleellisesti tuloksen luotettavuuteen ja tarkkuuteen?

Ratkaisu.

RATKAISUVAIHTOEHTO 1:
Kiihdytin, nopeusvalitsin ja analysointimagneettikenttä

Ominaisvaraus voidaan määrittää kokeellisesti massaspektrometrin avulla. Massaspektrometri voidaan rakentaa seuraavista osista: Ionilähde, kiihdyttävä sähkökenttä, nopeusvalitsin, analysointimagneettikenttä ja ilmaisim.

Ominaisvarauksen määrittämiseksi täytyy tuntea nopeusvalitsimen sähkökentän voimakkuus E ja magneettivuon tiheys B_1 . Lisäksi täytyy mitata tutkitavan ionin lentoradan säde r analysointimagneettikentässä, sekä tuntea kyseisen kentän magneettivuon tiheys B_2 .

Ionien ominaisvaraus $\frac{q}{m}$ voidaan määrittää tunnetuista suureista seuraavasti. Ionit kiihdytetään sähkökentän avulla ja ne suunnataan nopeusvalitsimeen. Nopeusvalitsimen avulla saadaan mitattua ionien nopeus. Nopeusvalitsimessa ioniin kohdistuu sähkökentän E aiheuttama voima $F_E = qE$ sekä magneettikentän B_1 aiheuttama voima $F_{B_1} = qvB_1$, joka on vastakkaisuuntainen sähköiseen voimaan nähden. Mikäli nämä voimat ovat yhtä suuret, ioniin kohdistuva voimaresultantti on nolla ja ioni kulkee suoraviivaisesti nopeudenvalitsimen läpi törmäämättä sen seiniin. Tästä ehdosta saadaan selville läpi tulleiden ionien nopeus.

$$\begin{aligned} F_E &= F_{B_1} \\ qE &= qvB_1 \\ v &= \frac{E}{B_1} \end{aligned} \tag{1}$$

Nopeudenvalitsimesta ionit ohjataan kohtisuorasti analysointimagneettikenttään, joka aiheuttaa ioniin voiman $F_{B_2} = qvB_2$, joka on kohtisuorassa liikkeen suuntaa vastaan. Tällöin ioni joutuu ympyräliikkeeseen, keskeiskiihtyvyyden ollessa $a_n = \frac{v^2}{r}$.

Newtonin 2. lain nojalla ionin liikeyhtälö on

$$\begin{aligned} F_{B_2} &= ma_n \\ qvB_2 &= m \cdot \frac{v^2}{r} \\ \frac{q}{m} &= \frac{v}{B_2 r} \end{aligned} \quad (2)$$

Sijoittamalla (1) yhtälöön (2), saadaan ominaisvaraus tunnettujen suureiden avulla

$$\frac{q}{m} = \frac{E}{B_1 B_2 r} \quad (16\text{p (yht. 16p)})$$

Pisteytyksestä:

- Tarkoituksenmukainen ja oikeanlainen menetelmä = 3 p,
- Menetelmässä käytettyjen välineiden mainitseminen / luettelo = 3 p,
- Tarkempi selostus laitteiston toiminnasta = 5 p,
- Ominaisvarauksen lausekkeen johtaminen = 5 p.

Tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa ensinnäkin mittausaika. Suuremmalla mittausajalla kertyy enemmän osumia ilmaisimelle. Tällöin saadaan tarkemmin selville kohta, johon hiukkassuihku osuu analysointimagneettikentässä kierrettyään. Myös ilmaismen erottelukyky vaikuttaa siihen, kuinka tarkasti hiukkassuihkun osumakohta voidaan määrittää. Lisäksi tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa, millä tarkkuudella aiemmin mainitut laitteiston sähkökentän ja magneettivuon tiheyksien suuruudet tunnetaan. Myös se vaikuttaa tuloksen tarkkuuteen, mitä lähempänä tyhjiötä olosuhteet massaspektrometrin sisällä ovat. Laitteiston rakenteelliset ominaisuudet, kuten nopeudenvalitsimen aukon leveys vaikuttavat mittaustarkkuuteen. (4p (yht. 20p))

RATKAISUVAIHTOEHTO 2:
Kiihdytin ja nopeusvalitsin

Ominaisvaraus voidaan määrittää kokeellisesti massaspektrometrin avulla. Massaspektrometri voidaan rakentaa seuraavista osista: Ionilähde, kiihdyttävä sähkökenttä, nopeusvalitsin ja ilmaisim.

Ominaisvarauksen määrittämiseksi täytyy tuntea nopeusvalitsimen sähkökentän voimakkuus E ja magneettivuon tiheys B . Lisäksi täytyy tuntea kiihdytysjännite U .

Ionien ominaisvaraus $\frac{q}{m}$ voidaan määrittää tunnetuista suureista seuraavasti. Ionit kiihdytetään sähkökentän avulla ja nopeasti liikkuvat ionit suunnataan nopeusvalitsimeen. Nopeusvalitsimen avulla saadaan mitattua ionien nopeus. Nopeusvalitsimessa ioniin kohdistuu sähkökentän E aiheuttama voima $F_E = qE$ sekä sähkökentän B aiheuttama voima $F_B = qvB$, joka on vastakkaisuuntainen sähköiseen voimaan nähden. Mikäli nämä voimat ovat yhtä suuret, ioniin kohdistuva voimaresultantti on nolla ja ioni kulkee suoraviivaisesti nopeudenvalitsimen läpi törmäämättä sen seiniin. Tästä ehdosta saadaan selville läpi tulleiden ionien nopeus.

$$\begin{aligned} F_E &= F_B \\ qE &= qvB \\ v &= \frac{E}{B} \end{aligned} \quad (1)$$

Ilmaisimen merkitys on, että sen avulla havaitaan, pääsevätkö hiukkaset nopeudenvalitsimen läpi. Nopeudenvalitsin on säädetty oikein, kun ilmaisimessa saa osumia ioneista ja osumien intensiteetti on suurimmillaan. Tutkitaan seuraavaksi, mikä yhteys on ionien nopeudella ja kiihdytysjännitteellä. Kiihdytysjännite tekee ioniin työn $W = qU$. Työperiaatteen mukaan saadaan

$$\begin{aligned} W &= E_k \\ qU &= \frac{1}{2}mv^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Sijoittamalla (1) yhtälöön (2) saadaan ratkaistua ionin ominaisvaraus.

$$\begin{aligned} qU &= \frac{1}{2}m \cdot \frac{E^2}{B^2} \\ \frac{q}{m} &= \frac{E^2}{2B^2U} \end{aligned} \quad \text{16p (yht. 16p)}$$

Pisteytyksestä:

- Tarkoituksenmukainen ja oikeanlainen menetelmä = 3 p,
- Menetelmässä käytettyjen välineiden mainitseminen / luettelo = 3 p,
- Tarkempi selostus laitteiston toiminnasta = 5 p,
- Ominaisvarauksen lausekkeen johtaminen = 5 p.

Tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa ensinnäkin mittausaika. Suuremmalla mittausajalla kertyy enemmän osumia ilmaisimelle. Tällöin saadaan tarkemmin selville kohta, johon hiukkassuihku osuu analysointimagneettikentässä kierrettyään. Myös ilmaisimen erottelukyky vaikuttaa siihen, kuinka tarkasti hiukkassuihkun osumakohta voidaan määrittää. Lisäksi tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa, millä tarkkuudella aiemmin mainitut laitteiston sähkökentän ja magneettivuon tiheyksien suuruudet tunnetaan. Myös se vaikuttaa tuloksen tarkkuuteen, mitä lähempänä tyhjiötä olosuhteet massaspektrometrin sisällä ovat. Laitteiston rakenteelliset ominaisuudet, kuten nopeudenvalitsimen aukon leveys vaikuttavat mittaustarkkuuteen. 4p (yht. 20p)

RATKAISUVAIHTOEHTO 3:
Kiihdytin ja analysointimagneettikenttä

Ominaisvaraus voidaan määrittää kokeellisesti massaspektrometrin avulla. Massaspektrometri voidaan rakentaa seuraavista osista: Ionilähde, kiihdyttävä sähkökenttä, analysointimagneettikenttä ja ilmaisim.

Ominaisvarauksen määrittämiseksi täytyy tuntea kiihdytysjännite U . Lisäksi täytyy mitata tutkittavan ionin lentoradan säde r analysointimagneettikentässä, sekä tuntea kyseisen kentän magneettivuon tiheys B .

Ionien ominaisvaraus $\frac{q}{m}$ voidaan määrittää tunnetuista suureista seuraavasti. Ionit kiihdytetään sähkökentän avulla ja nopeasti liikkuvat ionit suunnataan kohtisuorasti analysointimagneettikenttään, joka aiheuttaa ioniin voiman $F_B = qvB$, joka on kohtisuorassa liikkeen suuntaa vastaan. Tällöin ioni joutuu ympyräliikkeeseen, keskeiskiihtyvyyden ollessa $a_n = \frac{v^2}{r}$. Ionin liikeyhtälöstä saadaan

$$\begin{aligned} F_B &= ma_n \\ qvB &= m \frac{v^2}{r} \\ v &= \frac{Bqr}{m} \end{aligned} \tag{1}$$

Tutkitaan seuraavaksi, mikä yhteys on ionien nopeudella ja kiihdytysjännitteellä. Kiihdytysjännite tekee ioniin työn $W = qU$. Työperiaatteen mukaan saadaan

$$\begin{aligned} W &= E_k \\ qU &= \frac{1}{2}mv^2 \end{aligned} \tag{2}$$

Sijoittamalla (1) yhtälöön (2) saadaan ratkaistua ionin ominaisvaraus.

$$qU = \frac{1}{2}m \cdot \frac{B^2 q^2 r^2}{m^2}$$

$$\frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2} \quad (16\text{p (yht. 16p)})$$

Pisteytyksestä:

- Tarkoituksenmukainen ja oikeanlainen menetelmä = 3 p,
- Menetelmässä käytettyjen välineiden mainitseminen / luettelo = 3 p,
- Tarkempi selostus laitteiston toiminnasta = 5 p,
- Ominaisvarauksen lausekkeen johtaminen = 5 p.

Tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa ensinnäkin mittausaika. Suuremmalla mittausajalla kertyy enemmän osumia ilmaisimelle. Tällöin saadaan tarkemmin selville kohta, johon hiukkassuihku osuu analysointimagneettikentässä kierrettyään. Myös ilmaisimen erottelukyky vaikuttaa siihen, kuinka tarkasti hiukkassuihkun osumakohta voidaan määrittää. Lisäksi tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa, millä tarkkuudella aiemmin mainitut laitteiston sähkökentän ja magneettivuon tiheyksien suuruudet tunnetaan. Myös se vaikuttaa tuloksen tarkkuuteen, mitä lähempänä tyhjiötä olosuhteet massaspektrometrin sisällä ovat. Laitteiston rakenteelliset ominaisuudet, kuten analysointimagneettikentän sisääntuloaukon leveys vaikuttavat mittaustarkkuuteen. (4p (yht. 20p))

10. Painovoima-aallot ja LIGO (20 p.)

Tekstissä 10. A kerrotaan painovoima-aaltojen havaitsemisesta LIGO-koejärjestelyllä. Vastaa tehtäviin 10.1.–10.3. tekstin ja siihen liittyvän kuvan 10. B avulla.

Aineisto:

10.A [Teksti: Painovoima-aallot ja LIGO](#)

10.B [Kuva: GW150914:n havaintodata](#)

- 10.1. Mitä tarkoittaa havainnon GW150914 yhteydessä se, että havainto on "suora". Miksi vuoden 1974 havainto ei ole "suora havainto"? (5 p.)
- 10.2. Kun toisiaan kiertävät kappaleet sulautuivat yhdeksi, gravitaatioaaltoina poistui energiaa kolmen Auringon massan verran 0,015 sekunnin aikana. Laske gravitaatioaaltojen teho. Kuinka monen Auringon säteilytehoa tämä vastaa? Auringon säteilyteho on $3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$. (8 p.)
- 10.3. LIGO:n datan analysoinnissa saatiin tulokseksi, että yhdistymisessä syntyneen kappaleen massa oli 62 kertaa Auringon massa. Tämän perusteella havainnon GW150914 voidaan tulkita seuranneen nimenomaan mustien aukkojen törmäyksestä eikä tavallisten tähtien tai neutronitähtien törmäyksestä. Miten tämä voidaan päätellä aineiston avulla? (7 p.)

Ratkaisu.

- 10.1. Suora havainto tarkoittaa sitä, että mitataan juuri sitä asiaa, josta havainto tehdään. GW150914 tapauksessa mitattiin lasersäteiden interferenssin avulla juuri gravitaatioaaltojen aiheuttamaa vaikutusta. 2p (yht. 2p) Vuoden 1974 havainto ei ole suora havainto, koska siinä ei mitattu gravitaatioaaltojen vaikutusta, vaan mitattiin pulsarin menettämää energiaa. Vuonna 1974 tehtiin siis suora havainto pulsarin menettämästä energiasta. Yleisen suhteellisuusteorian malli gravitaatioaaltoista ennusti hyvin tämän menetetyn energian määrän, joten havainto tuki kyseistä mallia ja näin oli epäsuora havainto gravitaatioaaltoista. 3p (yht. 5p)
- 10.2.

$$m_A = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$\Delta m = 3m_A$$

$$\Delta t = 0,015 \text{ s}$$

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$P_A = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W.}$$

Energiaa vapautuu siis

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 3m_A c^2, \quad \text{3p (yht. 3p)}$$

joten gravitaatioaaltojen teho on

$$\begin{aligned} P &= \frac{\Delta E}{\Delta t} \\ &= \frac{3m_A c^2}{\Delta t} \\ &= 3,5752 \dots \cdot 10^{49} \text{ W} \\ &\approx 3,6 \cdot 10^{49} \text{ W.} \quad \text{3p (yht. 6p)} \end{aligned}$$

Lasketaan, kuinka moninkertainen tämä teho on verrattuna Auringon säteilytehoon.

$$\frac{P}{P_A} = 9,1673 \dots \cdot 10^{22} \approx 9,2 \cdot 10^{22}. \quad \text{2p (yht. 8p)}$$

Vastaus: Gravitaatioaaltojen teho oli $3,6 \cdot 10^{49} \text{ W}$ ja se vastaa $9,2 \cdot 10^{22}$ Auringon säteilytehoa.

Pisteytyksestä: Myös vastaus, että teho vastaa 10^{23} Auringon tehoa, hyväksytään.

- 10.3. Aineiston mukaan kappaleen, jonka massa on 62 kertaa Auringon massa, Schwarzschildin säde on 180 km. Aineiston alemmassa kuvaajassa taivaankappaleiden etäisyys on annettu yhdistymisessä syntyvän kappaleen Schwarzschildin säteen avulla ja kuvaajasta nähdään, että hieman ennen törmäystä etäisyys on noin

kahden Schwarzschildin säteen suuruinen, eli tässä tapauksessa noin $2 \cdot 180 \text{ km} = 360 \text{ km}$.

Aineiston mukaan neutronitähtien massat voivat olla korkeintaan muutaman Auringon massan suuruusluokkaa, joten ei ole mahdollista, että kahden neutronitähden yhdistymisen seurauksena syntyvän kappaleen massa olisi 62 kertaa Auringon massa. 2p (yht. 2p)

Aineiston mukaan tavallisten tähtien halkaisijat ovat suuruusluokkaa $100\,000 \text{ km} - 1\,000\,000 \text{ km}$ ja valkoisten kääpiöiden halkaisijat ovat suuruusluokkaa $10\,000 \text{ km}$. Koska yhdistyvien taivaankappaleiden etäisyys ennen törmäystä on monta suuruusluokkaa pienempi kuin nämä halkaisijat, kyseiset taivaankappaleet eivät voi olla tavallisia tähtiä tai valkoisia kääpiöitä. 4p (yht. 6p)

Tästä voidaan päätellä, että yhdistyvien taivaankappaleiden täytyi olla juuri mustia aukkoja. 1p (yht. 7p)

Pisteytyksestä:

- Perustelu, etteivät kyseessä voi olla neutronitähdet = 2 p,
- Perustelu, etteivät kyseessä voi olla tavalliset tähdet tai valkoiset kääpiöt = 4 p,
- Lopputulema, että kyseessä ovat mustat aukot = 1 p.

11. Hörypuhdistin (20 p.)

Hörypuhdistin on laite, joka koostuu paineastiasta ja sähkövastuksesta. Astiassa olevaa vettä lämmitetään sähkövastuksen avulla, jolloin astiaan muodostuu vesihöyryä. Höyryä johdetaan suuttimen kautta puhdistettavalle pinnalle. Kuvissa 11. A ja 11. B on annettu tietoa hörypuhdistimesta. Kuvassa 11. C on esitetty veden faasidiagrammi. Vastaa tehtäviin 11.1.–11.3. annetun aineiston ja oman tietämyksesi avulla.

Aineisto:

- 11.A [Kuva: Hörypuhdistin](#)
- 11.B [Kuva: Laitteen arvokilpi](#)
- 11.C [Kuva: Veden faasidiagrammi](#)

- 11.1. Määritä annetun aineiston perusteella, missä lämpötilassa vesi on hörypuhdistimen paineastiassa, kun laite on käyttövalmis. (8 p.)
- 11.2. Paineastian tilavuus on 1,0 litraa. Astia täytetään vesijohtovedellä, jonka lämpötila on +6,0 °C ja hörypuhdistimen lämmitysvastus kytketään päälle. Kuinka pitkän ajan kuluttua puhdistin on käyttövalmis? (8 p.)
- 11.3. Kuinka suuri tehollinen sähkövirta kulkee puhdistimen sähkövastuksen läpi veden lämmityksen aikana? (4 p.)

Ratkaisu.

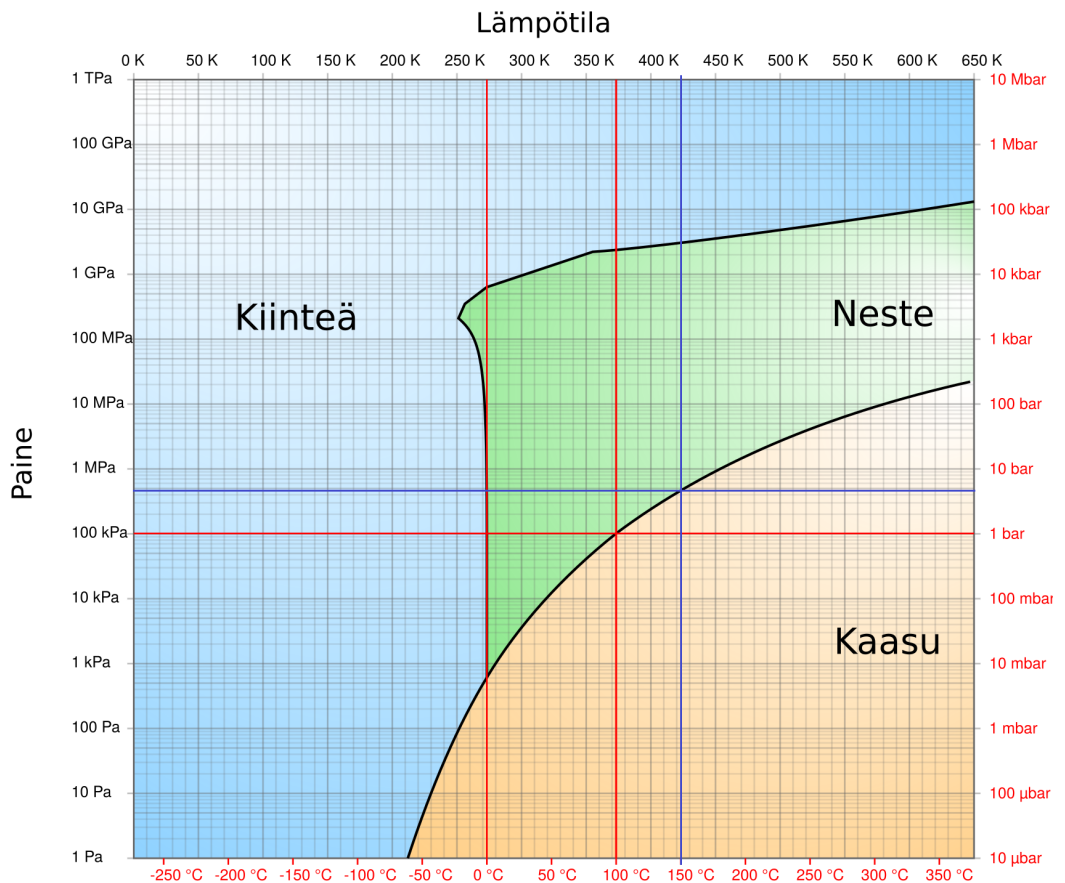
- 11.1. Laitteen arvokilvessä on ilmoitettu paine 0,35 MPa, joka saavutetaan laitteen olessa käyttövalmiina. Tulkitaan arvokilven paineen tarkoittavan laitteen säiliössä vallitsevaa ylipainetta verrattuna ulkoiseen ilmanpaineeseen. **Tämä on yleinen tapa ilmoittaa painelaitteissa vallitsevia paineita, koska kaasu alkaa virrata ulos laitteesta vasta, kun kaasu on ylipaineista.** Arvokilvessä annettu ylipaineen arvo on luultavasti ilmoitettu siten, että se vastaa tilannetta, jossa säiliön ulkopuolella on normaali ilmanpaine. Säiliössä vallitseva absoluuttinen paine on siten 1,013 bar suurempi kuin ilmoitettu ylipaine, eli absoluuttinen paine säiliössä on $p = 3,5 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} = 4,513 \text{ bar} \approx 4,5 \text{ bar} = 0,45 \text{ MPa}$.

Koska vesisäiliö on suljettu, höyry ei pääse poistumaan sieltä ja siten säiliöön muodostuu kylläisen vesihöyryn paine. Säiliön kokonaispaine muodostuu lähinnä vesihöyryn paineesta, joten kylläisen vesihöyryn paine säiliössä on $p =$

0,45 MPa.

Vesisäiliössä on toki muitakin kaasuja kuin vesihöyryä ja muut kaasut kasvattavat kokonaispainetta jonkin verran. Niiden vaikutusta ei kuitenkaan tarvitse huomioida, koska arvokilven arvo luultavasti kuvaa pelkän vesihöyryn painetta. Vesihöyryn painetta voidaan nimittäin hallita veden lämpötilaa säätämällä. Muut kaasut sen sijaan nostavat lähinnä aluksi kokonaispainetta, mutta kun säiliöstä päästetään kaasua ulos, muiden kaasujen osapaine alkaa nopeasti laskea, kun kaasuja poistuu säiliöstä ja toisaalta kaasun tilavuus kasvaa veden vähetessä.

Selvitetään, missä lämpötilassa kylläisen vesihöyryn paine on 0,45 MPa. Kyseinen lämpötila voidaan lukea faasikaaviosta kohdasta, missä faasikaavion höyrystymiskäyrä leikkaa paineen arvon 0,45 MPa. (4p (yht. 4p))



Monissa Abitin piirto-ohjelmissa vaaka- ja pystysuorien viivojen piirtäminen käy kätevästi, kun pidät Shift-näppäintä pohjassa piirtämisen aikana.

Luetaan kuvan pystyakselilta haluttu paineen arvo 0,45 MPa (tai 4,5 bar) ja piirretään siihen kohtaan vaakasuora viiva, joka leikkaa höyrystymiskäyrän. Tämän leikkauspisteen kohdalle piirretään pystysuora viiva, jonka leikkauskohdista alaja yläakseleiden kanssa voidaan lukea tätä painetta vastaava lämpötila höyrystymiskäyrällä. Lämpötila on kuvasta luettuna 150 °C.

Vastaus: Kun laite on käyttövalmis, paineastiassa oleva vesi on 150 °C lämpötilassa. 4p (yht. 8p)

Vastauksen voi antaa myös kelvineinä 420 K

Mahdollisesti tehtävästä sai täydet pisteet, vaikka jätti ilmanpaineen lisäämättä, eli olettamalla, että 3,5 baaria on säiliön kokonaispaine. Tällä oletuksella vastaus on 140 °C tai 410 K.

11.2. Veden lämmittämiseen tarvittava lämpömäärä on

$$Q = c_v m_v \Delta T, \quad \text{1p (yht. 1p)}$$

missä c_v on veden ominaislämpökapasiteetti, m_v on veden massa ja ΔT on lämpötilaero, minkä verran vettä lämmitetään. Veden höyrystymiseen tarvittavaa lämpöenergiaa ei tarvitse huomioida, sillä tehtävänannon mukaan säiliö täytetään vedellä, jolloin höyryfaasille ei jää ainakaan merkittävää määrää tilaa.

Veden ominaislämpökapasiteetti on

$$c_v = 4,190 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Veden tiheys lämpötilassa 6 °C (taulukosta) on $\rho_v = 0,999\,94 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ja säiliön tilavuus on 1 dm³, joten

$$m_v = \rho_v \cdot V = 0,999\,94 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 1,0 \text{ dm}^3 = 0,999\,94 \text{ kg}$$

Lämpötilan muutos on

$$\begin{aligned}T_1 &= 6^\circ\text{C} \\T_2 &= 150^\circ\text{C} \\ \Delta T &= T_2 - T_1 = 144^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Lämmitysvastuksen teho on arvokilven mukaan

$$P = 1800 \text{ W.} \quad (2\text{ p (yht. 3p)})$$

Lämpövastuksen tuottaman lämpöenergian määrä on sen tehon ja kuluneen ajan tulo, eli $Q = Pt$. (1 p (yht. 4p)) Tästä saadaan

$$\begin{aligned}Pt &= c_v m_v \Delta T \quad (2\text{ p (yht. 6p)}) \\ t &= \frac{c_v m_v \Delta T}{P} \\ &= 335,18 \text{ s} \\ &\approx 340 \text{ s} = 5 \text{ min } 40 \text{ s}\end{aligned}$$

Vastaus: Laite on käyttövalmis 5 minuutin 40 sekunnin kuluttua päällekytkemisestä. (2 p (yht. 8p))

Pisteytyksestä: Myös vastaus sekunteina, eli 340 sekunnin kuluttua hyväksytään.

Pisteytyksestä: Jos kokonaispaineena on käytetty arvoa 3,5 bar, on $\Delta T = 134^\circ\text{C}$ ja vastaukseksi tulee $311,90 \dots \text{ s} \approx 310 \text{ s} = 5 \text{ min } 10 \text{ s}$.

- 11.3. Laite toimii arvokilven perusteella vaihtojännitteellä, jonka tehollinen jännite on 220 – 240 V. Suomessa sähköverkon tehollinen jännite on

$$U_{\text{eff}} = 230 \text{ V.} \quad (1\text{ p (yht. 1p)})$$

Sähkölaitteen teho on Joulen lain mukaan $P = UI$. Kun laitetta käytetään vaihtovirralla, jännitteen ja virran arvoina käytetään Joulen laissa tehollisia arvoja.

Eli

$$\begin{aligned}P &= U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \quad \text{1p (yht. 2p)} \\I_{\text{eff}} &= \frac{P}{U_{\text{eff}}} \\&= 7,8260 \dots \text{ A} \\&\approx 7,8 \text{ A}\end{aligned}$$

Vastaus: Sähkövastuksen läpi kulkee 7,8 A:n tehollinen virta. 2p (yht. 4p)

Värilliset tekstit ovat lisäselityksiä, joita ei vaadita ratkaisussa.