

# MAFYNETTI



Miten opit  
parhaiten?

## Valmistaudu pitkän- tai lyhyen matematiikan kirjoituksiin ilmaiseksi Mafynetti-ohjelmalla!

- Harjoittelu tehdään aktiivisesti tehtäviä ratkomalla. Tehtävät kattavat kaikki yo-kokeessa tarvittavat asiat.
- Lasket kynällä ja paperilla, mutta Mafynetti opettaa ja neuvoo videoiden ja ratkaisujen avulla.
- Mafynetti huolehtii kertauksesta, joten et unohda oppimiasi asioita.
- Mafynetti on nyt kokonaan ilmainen!

Lataa ilmaiseksi [mafyvalmennus.fi/mafynetti](https://mafyvalmennus.fi/mafynetti)

Arviomme tehtävien pisteytyksestä  
on merkitty sinisellä tekstillä.

## Fysiikka, kevät 2012

Mallivastaukset, 21.3.2012

**Mallivastausten laatimisesta ovat vastanneet** filosofian maisteri Teemu Kekkonen ja diplomi-insinööri Antti Suominen. Teemu Kekkonen on opettanut lukiossa viiden vuoden ajan pitkää ja lyhyttä matematiikkaa sekä fysiikkaa. Antti on toiminut neljä vuotta tuntiopettajana Teknillisessä korkeakoulussa ja sen jälkeen lukiossa. Antti ja Teemu ovat perustaneet MAFY-valmennuksen ja opettavat sen kaikilla kursseilla ympäri vuoden. Nämä mallivastaukset ovat Antti Suominen Oy:n omaisuutta.

**MAFY-valmennus on** Helsingissä toimiva, matematiikan ja fysiikan valmennuskursseihin erikoistunut yritys. Palveluitamme ovat

- TKK-pääsykoekurssit
- arkkitehtiosastojen pääsykoekurssit
- yo-kokeisiin valmentavat kurssit
- yksityisopetus

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

**Tämä asiakirja on tarkoitettu** yksityishenkilöille opiskelukäyttöön. Kopion tästä asiakirjasta voi ladata MAFY-valmennuksen internet-sivuilta [www.mafyvalmennus.fi](http://www.mafyvalmennus.fi). Käyttö kaikissa kaupallisissa tarkoituksissa on kielletty. Lukion fysiikan opettajana voit käyttää tätä tehtäväpakettia oppimateriaalina lukiokursseilla.

MAFY-valmennuksen yhteystiedot:

internet: [www.mafyvalmennus.fi](http://www.mafyvalmennus.fi)  
s-posti: [info@mafyvalmennus.fi](mailto:info@mafyvalmennus.fi)  
puhelin: (09) 3540 1373

1. Poimi alla olevasta taulukosta henkilön nimi, fysiikan käsite ja vuosiluku tai aikaväli ja muodosta taulukon tiedoista kolme totta olevaa lausetta, esimerkiksi: *Albert Einstein esitti valosähköisen ilmiön selityksen vuonna 1905*. Kielteiset lauseet, kuten *Albert Einstein ei esittänyt valosähköisen ilmiön selitystä 1800-luvulla*, eivät kelpaa, vaikka olisivatkin totta. Kutakin henkilöä ja käsitettä saa käyttää vain kerran.

Arkhimedes	radioaktiivisuus	200-luku eaa.
Isaac Newton	noste	1600-luku
Henri Becquerel	gravitaatiolaki	1896
James Clerk Maxwell	sähkövirran magneettikenttä	1820
Hans Christian Ørsted	sähkömagneettinen induktio	1830-luku
Michael Faraday	atomimalli	1903

#### Ratkaisu.

- Arkhimedes keksi 200-luvulla eaa lain, jonka avulla voidaan laskea nosteen suuruus. 2 p
- Isaac Newton esitti gravitaatiolain 1600-luvulla. 2 p (4 p)
- Henri Becquerel löysi radioaktiivisuuden vuonna 1896. 2 p (6 p)

Tehtävässä pyydettiin kolme lausetta. Muita kelpollisia lauseita olisivat:

- Vuonna 1820 Hans Christian Ørsted havaitsi ja esitti, että sähkövirta aiheuttaa johtimen ympärille magneettikentän.
- Michael Faraday teki 1830-luvulla suuren määrän merkittäviä kokeita, joiden avulla hän omalla tahollaan löysi sähkömagneettisen induktion.

James Clerk Maxwellia ei voi mielekkäällä tavalla liittää mihinkään käsitteen ja vuosiluvun yhdistelmään, koska Maxwell eli vuosina 1831–1879.

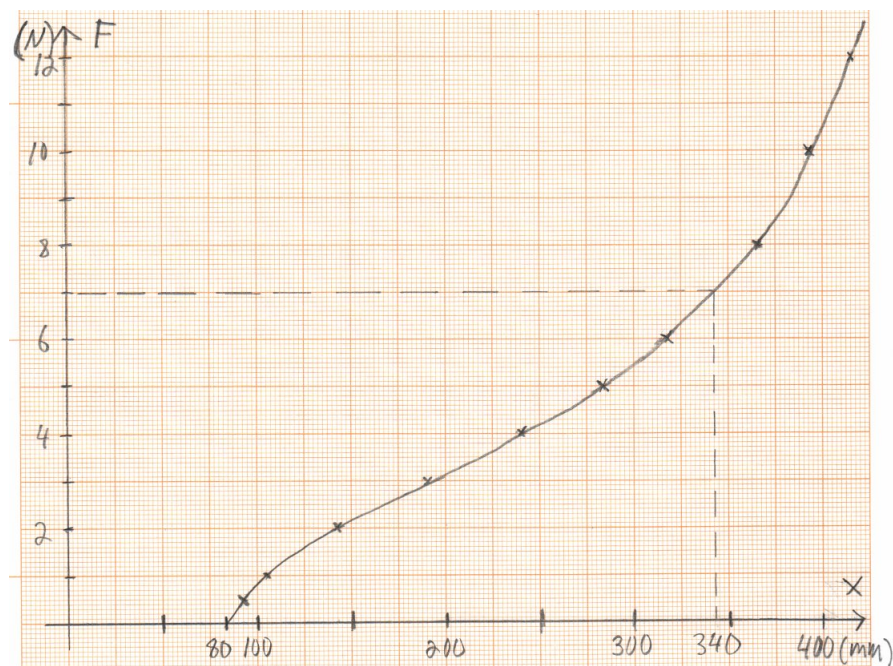
2. Kumilankaa venytetään erisuuruksilla voimilla ja mitataan langan pituus. Voimat ja niitä vastaavat pituudet on esitetty oheisessa taulukossa.

$F$ (N)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
$x$ (mm)	92	105	143	190	241	284	321	367	395	416

- a) Piirrä  $F(x)$ . (3 p.)  
 b) Määritä kuvaajan avulla kumilangan pituus, kun sitä venytetään 7,0 N:n voimalla. (1 p.)  
 c) Arvioi kuvaajan avulla kumilangan pituus, kun sitä ei venytetä. (2 p.)

Ratkaisu.

a)



3 p

- b) Määritetään kuvaajasta:

$$F(340 \text{ mm}) = 7 \text{ N}$$

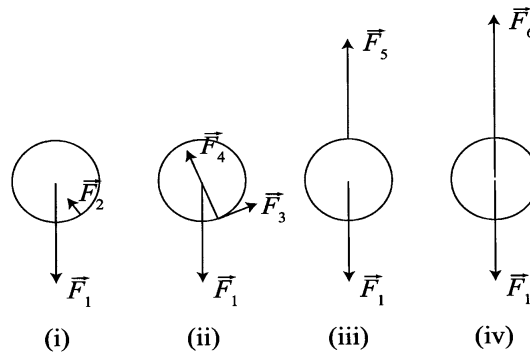
Vastaus: Kumilangan pituus on 340 mm. 1 p (4 p)

- c) Kun lankaa ei venytetä, siihen kohdistuu 0 N voima. Luetaan kuvaajasta: 1 p (5 p)

$$F(80 \text{ mm}) = 0 \text{ N}$$

Vastaus: Kumilangan pituus venyttämättä on 80 mm. 1 p (6 p)

3. Oheisissa voimakuvioissa (i)–(iv) on esitetty palloon kohdistuvat voimat erilaisissa tilanteissa. Missä voimakuviossa pallo a) vierii, b) on heittoliikkeessä ja c) riippuu langan varassa? Tunnista ja nimeä voimat valitsemissasi voimakuvioissa.



Ratkaisu.

- a) Pallo vierii kuviossa (ii). **1 p**  
 $\vec{F}_1$  on painovoima,  
 $\vec{F}_3$  on pallon ja pinnan välinen kitkavoima ja  
 $\vec{F}_4$  on pinnan tukivoima. **1 p (2 p)**
- b) Pallo on heittoliikkeessä kuviossa (i). **1 p (3 p)**  
 $\vec{F}_1$  on painovoima ja  
 $\vec{F}_2$  on ilmanvastus, joka on vastakkaisuuntainen pallon nopeudelle. **1 p (4 p)**
- c) Pallo riippuu langan varassa kuviossa (iii). **1 p (5 p)**  
 $\vec{F}_1$  on painovoima ja  
 $\vec{F}_5$  on langan palloon kohdistama voima.  
 $\vec{F}_1 = -\vec{F}_5$ , joten Newtonin I lain mukaan pallo on paikallaan. **1 p (6 p)**

4. Olkiluoto 3 ydinvoimalan sähköntuotannon hyötysuhde on 0,37. Ydinreaktorin jäähdytykseen käytettiin merivettä, jonka lämpötila nousee lauhduttimessa  $12^\circ\text{C}$ , kun voimalan sähköteho on 1 600 MW. Laske lauhduttimen läpi virtaavan meriveden määrä sekunnissa.

*Ratkaisu.* Reaktorin hyötysuhde on  $\mu = 0,37$ .

Lämpötilan nousu lauhduttimessa on  $\Delta T = 12^\circ\text{C}$ .

Voimalan sähköteho on  $P_{\text{anto}} = 1\,600\text{ MW} = 1\,600 \cdot 10^6\text{ W}$ .

Veden ominaislämpökapasiteetti on  $c_v = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ .

Määritetään teho  $P_h$ , joka lämmittää vettä lauhduttimessa.

$$\mu = \frac{P_{\text{anto}}}{P_{\text{otto}}} \iff P_{\text{otto}} = \frac{P_{\text{anto}}}{\mu}$$

$$\begin{aligned} P_h &= P_{\text{otto}} - P_{\text{anto}} \\ &= \frac{1}{\mu} P_{\text{anto}} - P_{\text{anto}} \\ &= \left( \frac{1}{\mu} - 1 \right) P_{\text{anto}} \end{aligned} \quad \text{1 p} \quad (1)$$

Lauhdutin lämmittää merivettä teholla  $P_h$ .

Lauhdutin luovuttaa vedelle lämpöenergiaa ajassa  $t$

$$Q_L = P_h t. \quad (2)$$

Meriveden vastaanottama lämpöenergia on

$$Q_v = c_v m_v \Delta T. \quad \text{1 p (2 p)} \quad (3)$$

Merivesi ottaa vastaan kaiken lauhduttimen luovuttaman lämpöenergian, joten



$$Q_v = Q_L \quad \parallel \text{ sij. (2) ja (3)}$$

$$c_v m_v \Delta T = P_h t \quad \parallel : (t \cdot c_v \cdot \Delta T) \quad \text{1 p (3 p)}$$

$$\frac{m_v}{t} = \frac{P_h}{c_v \Delta t} \quad \parallel \text{ sij. (1)}$$

$$\frac{m_v}{t} = \frac{\left(\frac{1}{\mu} - 1\right) P_{\text{anto}}}{c_v \cdot \Delta t} \quad \text{1 p (4 p)}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{0,37} - 1\right) \cdot 1\,600 \cdot 10^6 \text{ W}}{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 12^\circ\text{C}}$$

$$= 54\,183,1 \dots \text{ W} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{J}}$$

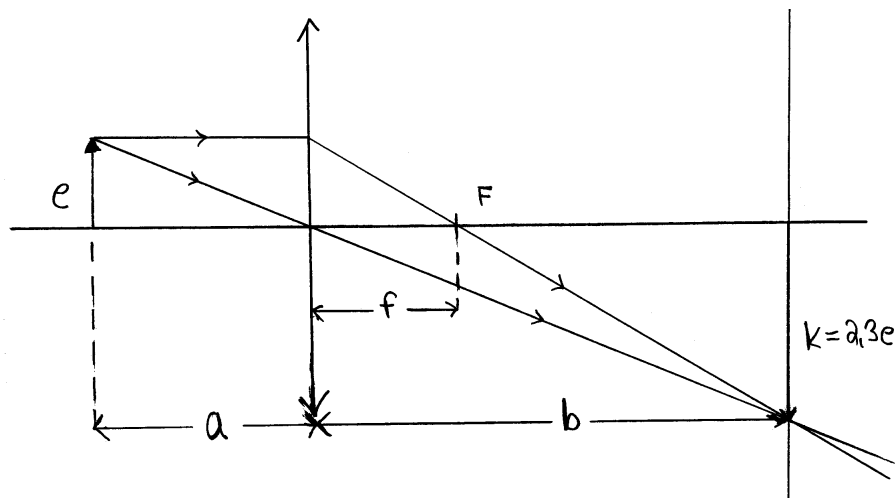
$$\approx 54\,000 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Tämä vastaa 54 000 litraa.

Vastaus: Lauhduttimen läpi virtaa vettä 54 000 l sekunnissa. 2 p (6 p)

5. Ohutta kuperaa linssiä tutkittiin optisessa penkissä. Varjostin asetettiin 120 cm:n etäisyydelle esineestä. Kun linssi asetettiin sopivaan kohtaan esineen ja varjostimen väliin, saatiin varjostimelle terävä kuva, joka oli 2,3 kertaa esineen suuruinen. Kuinka suuri on tutkitun linssin polttoväli? Piirrä kuva.

Ratkaisu.



2 p

Etäisyys esineestä varjostimelle (ja siten myös kuvalle) on 120 cm, joten

$$a + b = 120 \text{ cm.} \quad (1)$$

Ratkaistaan  $a$ :n ja  $b$ :n välinen yhteys viivasuurennoksen avulla.

$$\left| \frac{a}{b} \right| = \frac{e}{k} \quad \parallel \text{ sij. } k = 2,3e$$

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{2,3} \quad \parallel \cdot 2,3b$$

$$b = 2,3a$$

(2) 1 p (3 p)

Sijoitetaan (2) yhtälöön (1).

$$a + 2,3a = 120 \text{ cm}$$

$$3,3a = 120 \text{ cm} \quad \parallel : 3,3$$

$$a = \frac{120}{3,3} \text{ cm}$$

(3) 1 p (4 p)



Määritetään polttoväli linssin kuvausyhtälöstä:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad \| ( )^{-1}, \text{ sij. (2)}$$

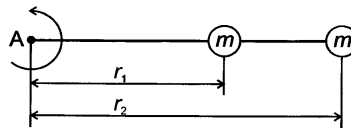
$$f = \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{2,3a} \right)^{-1} \quad \| \text{sij. (3)} \quad 1 \text{ p (5 p)}$$

$$\begin{aligned} f &= \left( \frac{1}{\frac{120}{3,3} \text{ cm}} + \frac{1}{2,3 \cdot \frac{120}{3,3} \text{ cm}} \right)^{-1} \\ &= 25,344 \dots \text{ cm} \\ &\approx 25 \text{ cm} \end{aligned}$$

Vastaus: Polttoväli on 25 cm.

1 p (6 p)

6. Kaksi kiekkoa, joiden molempien massa on 150 g, on kytketty oheisen kuvan mukaisesti toisiinsa kevyellä langalla. Toinen kiekko on kytketty kiinteään pisteeseen A samanlaisella langalla. Kiekkojen etäisyydet pisteestä A ovat  $r_1 = 0,50$  m ja  $r_2 = 0,90$  m. Systeemi pannaan pyörimään pisteen A ympäri ilmatyynypöydällä. Lanka kestää enintään 10,0 N:n jännitusvoiman.



- a) Pyörimisen kulmanopeutta kasvatetaan hitaasti, kunnes toinen langoista katkeaa. Kumpi? Perustele. (4 p.)  
 b) Kuinka suuri systeemin kulmanopeus on langan katketessa? (2 p.)

*Ratkaisu.* Alkuarvot

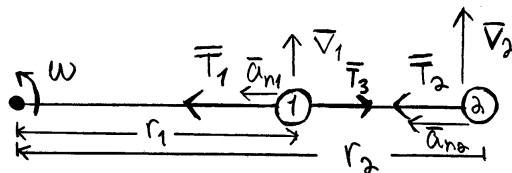
$$r_1 = 0,50 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,90 \text{ m}$$

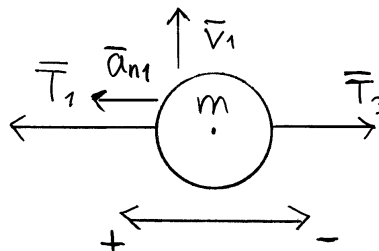
$$m = 150 \text{ g} = 0,15 \text{ kg}$$

$$T_{\max} = 10,0 \text{ N}$$

a)



Tutkitaan kiekkoon 1 kohdistuvia voimia.



1 p

Kiekko 1 on ympyräliikkeessä, joten

$$\text{NII: } \bar{T}_1 + \bar{T}_3 = m\bar{a}_{n1}$$

$$T_1 - T_3 = m \cdot a_{n1}$$

$$T_1 = ma_{n1} + T_3. \quad (1)$$

$\bar{T}_2$  ja  $\bar{T}_3$  ovat saman langan jännitysvoimia, joten

$$T_2 = T_3. \quad (2)$$

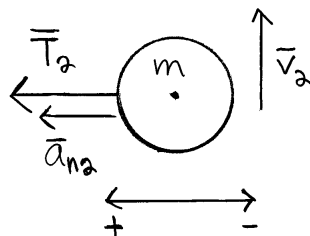
Sijoitetaan (2) yhtälöön (1).

$$T_1 = ma_{n1} + T_2 \quad (3) \quad 2 \text{ p (3 p)}$$

Selvästi  $T_1 > T_2$ , joten lankaan 1 kohdistuu suurempi voima ja se katkeaa ensin.

1 p (4 p)

b) Tutkitaan kappaletta 2.



$$\begin{aligned} \text{NII: } \bar{T}_2 &= m\bar{a}_{n2} \\ T_2 &= ma_{n2} \quad \parallel \text{ sij. } a_{n2} = \omega^2 r_2 \\ T_2 &= m\omega^2 r_2 \end{aligned} \quad (4)$$

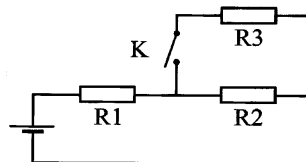
Lasketaan kulmanopeus rajatapauksessa, kun  $T_1 = T_{\max} = 10,0 \text{ N}$ . Sijoitetaan (4) yhtälöön (3).

$$\begin{aligned} T_1 &= ma_{n1} + m\omega^2 r_2 \quad \parallel \text{ sij. } a_{n1} = \omega^2 r_1 \\ T_1 &= m\omega^2 r_1 + m\omega^2 r_2 & 1 \text{ p (5 p)} \\ \omega^2 m(r_1 + r_2) &= T_1 \quad \parallel : m(r_1 + r_2) \\ \omega^2 &= \frac{T_1}{m(r_1 + r_2)} \quad \parallel \text{ sij. } T_1 = T_{\max} \\ \omega &= (\pm) \sqrt{\frac{T_{\max}}{m(r_1 + r_2)}} \\ \omega &= \sqrt{\frac{10,0 \text{ N}}{0,15 \text{ kg}(0,50 \text{ m} + 0,90 \text{ m})}} \\ &= 6,900 \dots \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\ &\approx 6,9 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Vastaus: Kulmanopeus langan katketessa on  $6,9 \text{ rad/s}$ .

1 p (6 p)

7. Paristosta ja vastuksista on rakennettu kuvan mukainen kytkentä. Pariston lähdejännite on  $3,0\text{ V}$  ja sisäinen resistanssi hyvin pieni. Vastuksen  $R_1$  resistanssi on  $22\ \Omega$ , vastuksen  $R_2$   $33\ \Omega$  ja vastuksen  $R_3$   $47\ \Omega$ .



- Kuinka suuri virta kulkee vastuksen  $R_1$  läpi, kun katkaisin  $K$  on avoinna? (1 p.)
- Kuinka suuria ovat vastuksien  $R_1$  ja  $R_2$  napajännitteet, kun katkaisin  $K$  on avoinna? (2 p.)
- Kuinka suuri virta kulkee vastuksen  $R_3$  läpi, kun katkaisin  $K$  on suljettu? (3 p.)

*Ratkaisu.*

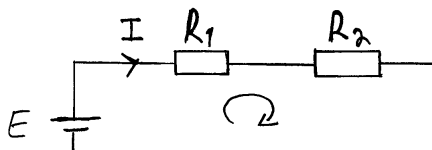
$$E = 3,0\text{ V}$$

$$R_1 = 22\ \Omega$$

$$R_2 = 33\ \Omega$$

$$R_3 = 47\ \Omega$$

- Kun katkaisin  $K$  on auki, virtaa ei kulje vastuksen  $R_3$  kautta. Vastus  $R_3$  voidaan jättää huomioimatta piirissä.



Ratkaistaan virta  $I$ :

$$\begin{aligned}
 \text{K2: } \sum \Delta V &= 0 \\
 E - R_1 I - R_2 I &= 0 \\
 R_1 I + R_2 I &= E \\
 I(R_1 + R_2) &= E \quad || : (R_1 + R_2) \\
 I &= \frac{E}{R_1 + R_2} \\
 I &= \frac{3,0 \text{ V}}{22 \Omega + 33 \Omega} \\
 &= 0,0545 \dots \text{ A} \\
 &\approx 0,055 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Vastaus: Virta on 0,055 A.

1 p

- b) Tilanne on sama kuin a-kohdassa. Lasketaan vastusten jännitteet Ohmin lailla.

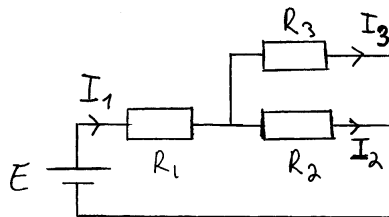
$$\begin{aligned}
 1. \quad U_1 &= R_1 \cdot I \\
 U_1 &= 22 \Omega \cdot 0,0545 \dots \text{ A} \\
 &= 1,2 \text{ V} \\
 2. \quad U_2 &= R_2 \cdot I \\
 U_2 &= 33 \Omega \cdot 0,0545 \dots \text{ A} \\
 &= 1,8 \text{ V}
 \end{aligned}$$

1 p (2 p)

Vastaus: Jännitteet ovat  $U_1 = 1,2 \text{ V}$  ja  $U_2 = 1,8 \text{ V}$ .

1 p (3 p)

- c) Piirretään piiri, kun katkaisija  $K$  on suljettu.



Lasketaan rinnan kytkettyjen vastusten yhteinen resistanssi.

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad || (\ )^{-1}$$

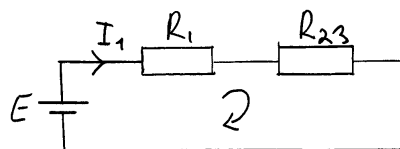
$$R_{23} = \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}$$

$$R_{23} = \left( \frac{1}{33\ \Omega} + \frac{1}{47\ \Omega} \right)^{-1}$$

$$= 19,387 \dots \Omega$$

1 p (4 p)

Esitetään piiri vastusten  $R_1$  ja  $R_{23}$  avulla.



Ratkaistaan virta  $I_1$ .

$$\text{K2: } E - R_1 I_1 - R_{23} I_1 = 0$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_{23}}$$

$$I_1 = \frac{3,0\ \text{V}}{22\ \Omega + 19,387 \dots \Omega}$$

$$= 0,0724 \dots \text{A}$$

1 p (5 p)

Lasketaan vastuksen  $R_{23}$  jännite Ohmin lailla:

$$U_{23} = R_{23} \cdot I_1$$

$$U_{23} = 19,387 \dots \Omega \cdot 0,0724 \dots \text{A}$$

$$= 1,405 \dots \text{V}$$

Vastuksen  $R_3$  jännite on  $U_{23}$ , koska kyse on rinnan kytkennästä. Ohmin lain mukaan on

$$U_{23} = R_3 \cdot I_3 \quad || : R_3$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3}$$

$$I_3 = \frac{1,405 \dots \text{V}}{47\ \Omega}$$

$$= 0,0299 \dots \text{A}$$

$$\approx 0,030 \text{ A}$$

Vastaus: Virta on 0,030 A.

1 p (6 p)

8. Yksinkertaisessa sähkögeneraattorissa johdinsilmukkaa pyöritetään tasaisella kulmanopeudella homogeenisessa magneettikentässä.
- a) Selitä, miten yksinkertainen generaattori toimii ja miksi generaattorin napoihin syntyy napajännite.
  - b) Miksi generaattorin tuottama vaihtojännite on sinimuotoista?

*Ratkaisu.*

- a) Muuttuva magneettivuo indusoi johdinsilmukkaan jännitteen siten, että jännitteen suuruus on silmukan läpi menevän magneettivuon muutosnopeus.

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

Silmukan läpi menevä magneettivuo määritellään siten, että se on pinnan magneettikenttää vastaan kohtisuoran projektion pinta-ala kerrottuna magneettivuon tiheydellä, eli

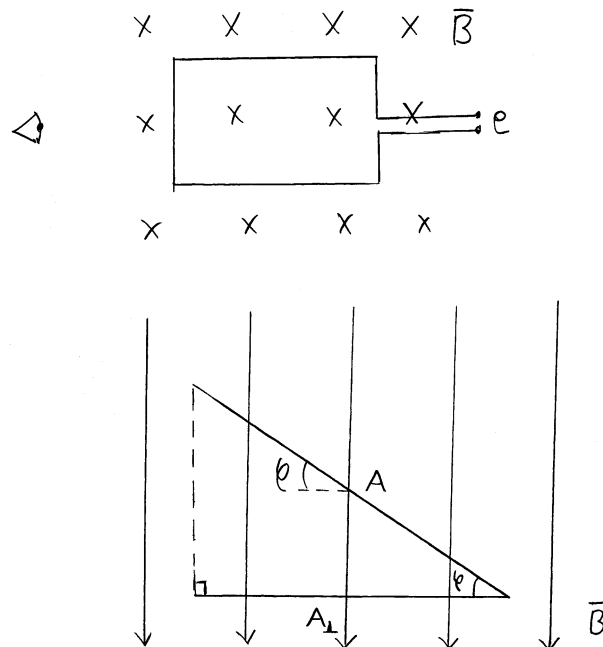
$$\Phi = BA_{\perp}. \quad (2) \quad 1 \text{ p}$$

Kun silmukka pyörii homogeenisessa magneettikentässä, muuttuu pinnan magneettikenttää vastaan kohtisuora pinta-ala jatkuvasti. Näin ollen magneettivuo muuttuu jatkuvasti, joten silmukan päiden, eli generaattorin napojen välille syntyy napajännite.

- b) Tutkitaan tilannetta, jossa suorakulmion muotoinen johdinsilmukka pyörii homogeenisessa magneettikentässä. Piirretään kuva silmukasta magneettikentässä päältä ja sivusta katsottuna.

2 p (3 p)





Määritetään magneettikenttää vastaan kohtisuora pinta-ala kulman ollessa  $\varphi$ .

$$A_{\perp} = \cos \varphi A \quad (3) \quad 1 \text{ p (4 p)}$$

Määritetään nyt magneettivuo. Sijoitetaan (3) yhtälöön (2).

$$\begin{aligned} \Phi &= B \cos \varphi A \quad \parallel \text{ sij. } \varphi = \omega t \\ \Phi &= BA \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (4)$$

Koska kulmanopeus  $\omega$  on vakio, ainoa muuttuja on aika  $t$ . Magneettivuo on siten  $t$ :n funktio

$$\Phi(t) = BA \cos(\omega t).$$

Muutosnopeus tarkoittaa aikaderivaattaa. Yhtälö (1) saadaan siten muotoon

$$\begin{aligned} e &= -\frac{d\Phi}{dt} \\ e &= -\Phi'(t). \end{aligned} \quad 1 \text{ p (5 p)}$$

Määritetään indusoituvan napajännitteen lauseke derivoimalla yhtälöstä (4).

$$\begin{aligned} e(t) &= -D(BA \cos(\omega t)) \\ e(t) &= -(-BA\omega \sin(\omega t)) \\ e(t) &= BA\omega \cdot \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (5)$$

Generaattorin tuottama jännite on vakio kertaa sinifunktio, joten jännite on sinimuotoista.

1 p (6 p)

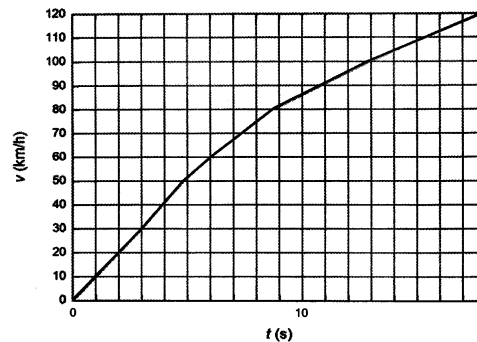
9. a) Mitä tarkoittaa kvanttifysiikan aaltohiukkasdualismi? (2 p.)  
b) Anna esimerkki ilmiöistä, joiden kautta dualismi ilmenee i) sähkömagneettiselle säteilylle, ii) jollekin hiukkaselle. (4 p.)  
Huomaa, että tarvitset vähintään neljä ilmiötä

*Ratkaisu.*

- a) Aaltohiukkasdualismi tarkoittaa sitä, että sähkömagneettisella säteilyllä sekä aineesta koostuvilla hiukkasilla on molemmilla ominaisuuksia jotka voidaan nykyisin selittää vain aaltoliikkeen mallin avulla ja molemmilla on ominaisuuksia, jotka voidaan nykyisin selittää vain hiukkasmallin avulla. **2 p**
- b) i) Näkyvä valo on sähkömagneettista säteilyä. Valo taipuu hilassa. Hilassa tapahtuva taipuminen eli diffraktio selitetään interferenssin avulla käyttäen valon aaltomallia. **1 p (3 p)**  
Valosähköisessä ilmiössä saadaan aikaan sähkövirta tyhjiöputkeen vain tiettyä kynnystaajuutta suuremmilla valon taajuuksilla. Virta syntyy, kun valo irroittaa elektroneja metallin pinnasta. Elektroneja ei irtoa, vaikka valon intensiteettiä kasvatetaan kuinka suureksi, jos kynnystaajuutta ei ole ylitetty. Tämän perusteella valon oletetaan koostuvan yksiköistä, joita kutsutaan fotoneiksi, ja jotka törmätessään elektroniin pystyvät irrottamaan sen metallista, mikäli fotonilla on riittävän suuri energia. Fotonin energia on suoraan verrannollinen sähkömagneettisen säteilyn taajuuteen. **1 p (4 p)**
- ii) Kun elektronit siroavat kaksoisraosta, saadaan ilmaisimilla näkymään samanlainen interferenssikuvio kuin siroavan valon tapauksessa. Interferenssikuvion jakautuminen noudattaa aaltoliikkeen mallia, kun elektronin aallonpituutena käytetään de Broglien aallonpituutta. **1 p (5 p)**  
Kun elektroni kiihdytetään sähkökentässä, voidaan sen saama liikeenergia ja nopeus laskea klassisen fysiikan mukaisesti työperiaatteella. Elektroni käyttäytyy sähkökentässä kuten hiukkanen. Törmätessään atomeihin elektroni kykenee irrottamaan niiden elektroniverhoista toisia elektroneja.

**1 p (6 p)**

10. Testattaessa erään auton suurinta kiihtyvyyttä saatiin oheinen nopeuden kuvaaja.



- a) Määritä tarkoituksenmukaista kuvaajaa käyttäen teho, jolla auton liike-energia kasvaa välillä 30 km/h–120 km/h. Auton massa on 1 420 kg. (4 p.)  
 b) Auton moottorin suurimmaksi tehoksi on ilmoitettu 77 kW. Mistä mahdollinen ero a-kohdan tulokseen voi johtua? (2 p.)

*Ratkaisu.*

- a) Mikäli kiihdytysteho pysyy kiihdytyksen aikana vakiona, niin mekaniikan energiaperiaatteen mukaan

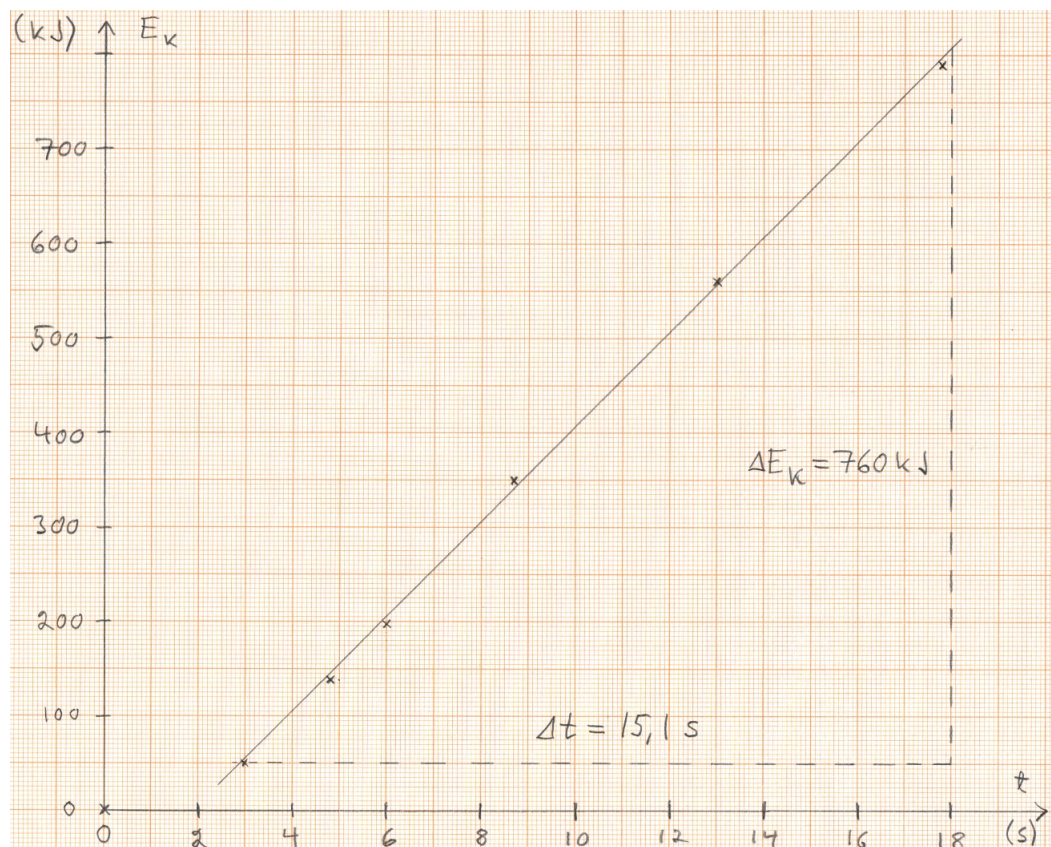
$$\begin{aligned}
 E_2 - E_1 &= W \quad \parallel \text{ sij. } W = P\Delta t \\
 E_{k2} - E_{k1} &= P\Delta t \\
 \Delta E_k &= P\Delta t \quad \parallel : \Delta t \\
 P &= \frac{\Delta E_k}{\Delta t}. \quad (1)
 \end{aligned}$$

Teho on siis liike-energian muutos jaettuna ajan muutoksella. Tästä seuraa, että liike-energia ajan funktiona on suora sellaisella välillä, jolla kiihdytysteho on vakio. Kiihdytysteho tällä välillä on sama kuin suoran fyysikaalinen kulmakerroin.   1 p

Nopeuden kuvaaja on murtoviiva, joten on perusteltua olettaa, että murtoviivan kulmapisteissä olevat arvot ovat todellisia mittaustuloksia. Luettaen nämä mittaustulokset alla olevaan taulukkoon ja lasketaan niitä vastaavat liike-energiat. Auton massa  $m = 1\,420$  kg.

$t$ (s)	$v$ (km/h)	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ (kJ)
0,0	0	0
3,0	30	49
4,8	50	137
6,0	60	197
8,7	80	351
13,0	101	559
17,8	120	789

Tehdään kuvaaja



2 p (3 p)

Nopeuden ollessa 30 km/h–120 km/h eli, kun  $t = 3 \dots 18$  s, kuvaaja on likimain suora. Sijoitetaan kuvaajasta saadut arvot  $\Delta E_k = 760$  kJ ja  $\Delta t = 15,1$  s kaavaan (1), saadaan

$$P = \frac{760 \text{ kJ}}{15,1 \text{ s}} = 50,33 \dots \text{ kW} \approx 50 \text{ kW}$$

Vastaus: Kysytty teho on 50 kW.

1 p (4 p)

- b) Auton liike-energiaa kasvattavaksi tehoksi saatiin 50 kW, mikä on huomattavasti vähemmän kuin moottorin suurimmaksi tehoksi ilmoitettu 77 kW. On useita syitä, jotka vaikuttavat tähän suuntaan. Moottorin suurin teho on mitattu kampiakselin päästä, mutta vetäville pyörille välittyvä teho on alhaisempi voimansiirrosta aiheutuvien vastusvoimien vuoksi. Lisäksi renkaiden vierimisvastus ja ilmanvastus tekevät autoon negatiivista työtä. Edelleen moottorin suurin teho saavutetaan tietyllä kierrosnopeudella, eikä moottori välttämättä käy koko kiihdytyksen ajan tällä optimaalisella kierrosnopeudella. Mikäli autossa on manuaalivaihteet, niin vaihteiden vaihtamiseen kuluu jonkin verran aikaa. Tietysti moottorin tehot saattavat myös olla ilmoitettua alhaisemmat.

1 p (5 p)

1 p (6 p)

11. a) Christian Doppler esitti nimeään kantavan ilmiön teorian vuonna 1842. Teorian ennusteita testattiin kokeellisesti vuonna 1845 Utrechtin ja Amsterdamin välisellä rautatiellä. Avoimeen junanvaunuun sijoitettiin ryhmä trumpetisteja, ja asemalle asettui toinen trumpetistiryhmä sekä joukko tarkkailijoita, joilla oli tarkka sävelkorva. Junan ajaessa aseman ohi molemmat trumpetistiryhmät soittivat samaa säveltä ja tarkkailijat kuuntelivat eroja ryhmien sävelkorkeudessa. Mikä oli asemaa lähestyvän junan nopeus, kun junassa ja asemalla soittavien trumpettien sävelkorkeudessa havaittiin puolisävelaskeleen ero? Puolisävelaskeleen muutos sävelkorkeudessa merkitsee äänen taajuuden kertomista tai jakamista luvulla  $\sqrt[12]{2}$ . Ilman lämpötilaksi kokeen aikana voidaan olettaa  $20^\circ\text{C}$ .
- b) Hedelmälepakko lentää kohti puussa riippuvaa mangoa ja lähettää ääntä taajuudella  $18,7\text{ kHz}$ . Lepakko havaitsee mangosta heijastuneen ja lähettämänsä äänen taajuuksien eroksi  $1,05\text{ kHz}$ . Kuinka suuri on lepakon lentonopeus? Voidaan olettaa, että ilman lämpötila on  $20^\circ\text{C}$ .

*Ratkaisu.*

- a) Dopplerin ilmiössä on kyse siitä, että äänilähteen liikuessa paikallaan oleva havaitsija havaitsee sen taajuuden korkeampana, jos äänilähde lähestyy havaitsijaa ja matalampana, jos äänilähde etääntyy havaitsijasta. Merkitään äänilähteen taajuutta  $f_0$ :lla. Kun aaltolähde tulee suoraan havaitsijaa kohti, niin havaittu taajuus on

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_l}, \quad (1)$$

jossa  $v_l$  on äänilähteen nopeus ja  $v$  on äänen nopeus. Äänen nopeus  $20^\circ\text{C}$  lämpötilassa on  $343\text{ m/s}$  ja  $v_l$  on sama kuin kysytty junan nopeus. Junan voidaan olettaa tulevan likimain suoraan kohti havaitsijoita. Havaitsijaryhmän mukaan

$$f = \sqrt[12]{2} f_0. \quad (2)$$



Sijoitetaan (2) yhtälöön (1), saadaan

$$\begin{aligned}
 f_0 \frac{v}{v - v_l} &= \sqrt[12]{2} f_0 \quad || : f_0 & 1 \text{ p (2 p)} \\
 \frac{v}{v - v_l} &= \sqrt[12]{2} \quad || \cdot (v - v_l) \\
 v &= \sqrt[12]{2} v - \sqrt[12]{2} v_l \\
 \sqrt[12]{2} v_l &= \sqrt[12]{2} v - v \quad || : \sqrt[12]{2} \\
 v_l &= \frac{(\sqrt[12]{2} - 1)v}{\sqrt[12]{2}} \\
 v_l &= \frac{(\sqrt[12]{2} - 1) \cdot 343 \text{ m/s}}{\sqrt[12]{2}} = 19,2511 \dots \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Vastaus: Junan nopeus oli 19 m/s. 1 p (3 p)

[Huomautus lukijalle: Taajuuden muuttumiseen liittyvät kaavat eivät ole kovin suuressa roolissa lukiokursseilla ja voi jopa olla, etteet ole harjoitellut niiden käyttöä ollenkaan. Kaavat löytyvät kuitenkin MAOL:sta, joten jos ilmiö muuten on selvä, niin kaavoissa olevien muuttujien merkitystä kannattaa lähteä rohkeasti pohtimaan ja kaavojen käyttö voi selvittää sitä kautta koetilanteessa.]

- b) Lepakko havaitsee heijastuneen ja lähetetyn äänen taajuuseroksi  $\Delta f = 1,05 \text{ kHz}$ . Lepakon synnyttämä taajuus on  $f_0 = 18,7 \text{ kHz}$ .

Dopplerin ilmiön vuoksi mangon luona havaittu äänen taajuus ilmassa  $f_1$  on korkeampi kuin äänilähteen taajuus, kun lepakko tulee mangoa kohti. Taajuus  $f_1$  voidaan laskea liikkuvan äänilähteen kaavalla

$$f_1 = \frac{v}{v - v_L} f_0, \quad (3)$$

jossa  $v_L$  on lepakon nopeus ja äänen nopeus  $v = 343 \text{ m/s}$ . Heijastuminen ei muuta äänen taajuutta, joten myös heijastuneen äänen taajuus on  $f_1$ . Lepakko havainnoi heijastuvaa ääntä. Lepakon havaitsema taajuus  $f_2$  on korkeampi kuin äänen taajuus ilmassa  $f_1$ , koska lepakko liikkuu havaitsemansa ääneen liikesuuntaa vastaan.  $f_2$  voidaan laskea liikkuvan havaitsijan kaavalla

$$\begin{aligned}
 f_2 &= f_1 \frac{v + v_L}{v} \quad || \text{ sij. (3)} \\
 f_2 &= \frac{\cancel{x}}{v - v_L} f_0 \cdot \frac{v + v_L}{\cancel{x}} \\
 f_2 &= \frac{v + v_L}{v - v_L} f_0 & 1 \text{ p (4 p)} & (4)
 \end{aligned}$$

Lepakon havaitsema taajuusero on

$$f_2 - f_0 = \Delta f \quad || \text{ sij. (4)}$$

$$\frac{v + v_L}{v - v_L} f_0 - f_0 = \Delta f \quad \mathbf{1 \text{ p (5 p)}}$$

$$\frac{v + v_L}{v - v_L} f_0 = \Delta f + f_0 \quad || \cdot (v - v_L)$$

$$f_0 v + f_0 v_L = \Delta f v + f_0 v - \Delta f v_L - f_0 v_L$$

$$(2f_0 + \Delta f) v_L = \Delta f v \quad || : (2f_0 + \Delta f)$$

$$v_L = \frac{\Delta f}{2f_0 + \Delta f} v$$

$$v_L = \frac{1,05 \text{ kHz}}{2 \cdot 18,7 \text{ kHz} + 1,05 \text{ kHz}} \cdot 343 \text{ m/s}$$

$$v_L = 9,3667 \dots \text{ m/s}$$

$$v_L \approx 9,4 \text{ m/s}$$

Vastaus: Lepakon nopeus on 9,4 m/s.  $\mathbf{1 \text{ p (6 p)}}$

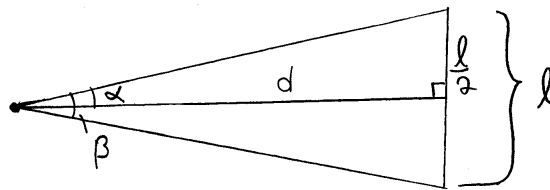
[Huomautus lukijalle: Laskelmissa on käytetty äänen nopeutena 343 m/s. Nopeus on valittu ilman lämpötilan perusteella ja ilman lämpötila on annettu yhden merkitsevän numeron tarkkuudella. Siten todellinen lämpötila voi olla 15–25 °C, tai vieläkin suurempi haarukka, koska ilman lämpötilaa ei oltu mitattu, vaan sille tehtiin karkea oletus. Äänennopeustaulukon perusteella voidaan arvioida, että äänen nopeus on tällöin oikein korkeintaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella. Siksi vastaus on mielekästä pyöristää kahteen merkitsevään numeroon.]

+12. Rapusumu (M1) koostuu hehkuvista kaasuista ja laajenee avaruuteen nopeudella  $1\,500\text{ km/s}$ . Sumun keskustassa on nopeasti pyörivä neutronitähti. Rapusumu ja neutronitähti lähettävät avaruuteen monenlaista sähkömagneettista säteilyä, joka riippuu sumun ja tähden koostumuksesta, rakenteesta ja lämpötilasta. Kun sumu syntyi, se näkyi kirkkaana tähtenä myös päivällä.

- Minkä kehitysvaiheen kautta sumu syntyi? (3 p.)
- Rapusumun halkaisija on 11 valovuotta, joka vastaa Maasta katsottuna  $6,0$  kaariminuutin kulmaa. Arvioi, kuinka monta valovuotta on sumun etäisyys Maasta. (1 p.)
- Rapusumun keskustassa oleva neutronitähti pyörii  $30,2$  kierrosta sekunnissa. Neutronitähti voidaan olettaa palloksi, jonka halkaisija on  $30\text{ km}$  ja tiheys  $4,0 \cdot 10^{17}\text{ kg/m}^3$ . Laske neutronitähden pyörimisenergia. Miksi pyörimisenergia pienenee ja pyöriminen hidastuu? (2 p.)
- Oletetaan, että Rapusumu ja neutronitähti ovat peräisin emotähdestä, jonka massa oli  $10M_{\odot}$ . Laske emotähden pyörähdysaika olettamalla, että  $30\%$  sen pyörimismäärästä jäi neutronitähdelle. Emotähden tiheys voidaan olettaa samaksi kuin Auringon. (3 p.)

*Ratkaisu.*

- 2 p a) Rapusumun keskustassa on nopeasti pyörivä neutronitähti. Neutronitähti syntyy, kun raskas tähti räjähtää kehityksensä loppuvaiheessa supernovana. Räjähtävästä supernovasta on jäänyt jäljelle supernovajäänne, joka koostuu avaruuteen levittäytyvistä hehkuista kaasuista. 1 p (3 p)
- b)  $\beta = 6,0' = \frac{6,0}{60}^\circ = 0,1^\circ$ ,  $l = 11\text{ ly}$



$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{\beta}{2} = 0,05^\circ \\
 \tan \alpha &= \frac{\frac{l}{2}}{d} \parallel \cdot \frac{d}{\tan \alpha} \\
 d &= \frac{l}{2 \cdot \tan \alpha} \\
 d &= \frac{11 \text{ ly}}{2 \cdot \tan 0,05^\circ} \\
 &= 6\,302,53 \dots \text{ ly} \\
 &\approx 6\,300 \text{ ly}
 \end{aligned}$$

Vastaus: Rapusumun etäisyys Maasta on noin 6 300 valovuotta.

1 p (4 p)

c)

$$\begin{aligned}
 n &= 30,2 \frac{1}{\text{s}} \\
 \omega &= 2\pi n \\
 d &= 30 \cdot 10^3 \text{ m} \\
 \rho_t &= 4,0 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

Tähden massa on

$$\begin{aligned}
 m &= \rho_t V \\
 &= \rho_t \frac{4}{3} \pi r^3 \\
 &= \frac{4}{3} \pi \rho_t r^3
 \end{aligned} \tag{1}$$

Pyörimisenergia on

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} J \omega^2. \tag{2}$$

Neutronitähti ajatellaan umpinaiseksi palloksi, jonka hitausmomentti on

$$J = \frac{2}{5} m r^2 \tag{3}$$

Sijoitetaan (3) yhtälöön (2).

$$\begin{aligned}
 E_{\text{rot}} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} m r^2 \cdot \omega^2 \quad \parallel \text{ sij. (1)} \\
 &= \frac{1}{5} \cdot \frac{4}{3} \pi \rho_t r^3 r^2 \omega^2 \quad \parallel \text{ sij. } r = \frac{d}{2} \text{ ja } \omega = 2\pi n \\
 &= \frac{4}{15} \pi \cdot \rho_t \left(\frac{d}{2}\right)^5 \cdot (2\pi n)^2 \\
 &= \frac{4}{15} \cdot \pi \cdot 4,0 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{30 \cdot 10^3 \text{ m}}{2}\right)^5 \cdot \left(2\pi \cdot 30,2 \frac{1}{\text{s}}\right)^2 \\
 &= 9,1623 \dots \cdot 10^{42} \text{ J} \\
 &\approx 9,2 \cdot 10^{42} \text{ J} \quad \mathbf{1 \text{ p (5 p)}}
 \end{aligned}$$

Neutronitähti säteilee pyöriessään sähkömagneettista säteilyä avaruuteen. Osa tähden pyörimisenergiasta poistuu siten emittoituvan säteilyn mukana. Tällöin tähden pyörimisenergia pienenee ja tähden pyöriminen hidastuu.  $\mathbf{1 \text{ p (6 p)}}$

Vastaus: Pyörimisenergia on  $9,2 \cdot 10^{42} \text{ J}$ .

d) Neutronitähden massa on

$$m = \frac{4}{3} \pi \rho_t r^3.$$

Emotähden massa oli

$$M = 10M_{\odot}, \quad M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

Emotähden tiheys oli

$$\rho_A = 1\,409 \text{ kg/m}^3.$$

Lasketaan emotähden säde  $R_E$  ja hitausmomentti  $J_E$ .

$$\begin{aligned}
 M &= \rho_A V \\
 10M_{\odot} &= \rho_A \frac{4}{3} \pi R_E^3 \\
 R_E &= \sqrt[3]{10 \frac{M_{\odot}}{\rho_A \cdot \frac{4}{3} \pi}} \\
 R_E &= \sqrt[3]{10} \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{\odot}}{\rho_A \cdot \frac{4}{3} \pi}}
 \end{aligned}$$

Samaan tapaan kuin laskettiin  $R_E$ , voidaan laskea, että Auringon, jonka massa on  $M_\odot$ , säde on  $R = \sqrt[3]{\frac{M_\odot}{\rho_A \cdot \frac{4}{3}\pi}}$ , joten  $R_E$  saadaan muotoon

$$R_E = \sqrt[3]{10}R, \quad (4) \quad 1 \text{ p (7 p)}$$

missä  $R = 6,960 \cdot 10^8 \text{ m}$  on Auringon säde.  
Edelleen

$$\begin{aligned} J_E &= \frac{2}{5}MR_E^2 \\ J_E &= \frac{2}{5} \cdot 10M_\odot \sqrt[3]{10}^2 \cdot R^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Emotähden pyörimismäärä oli

$$L_E = J_E\omega_E.$$

Neutronitähden pyörimismäärä on

$$L_T = J_T\omega_T.$$

Tiedetään, että  $L_T = 0,3L_E$ , eli

$$\begin{aligned} 0,3J_E\omega_E &= J_T\omega_T \quad \parallel \text{ sij. (5)} \\ 0,3 \cdot \frac{2}{5}10M_\odot \cdot \sqrt[3]{10}^2 R^2 \omega_E &= \frac{2}{5}mr^2\omega_T \quad \parallel \text{ sij. } m = \frac{4}{3}\pi\rho_t r^3 \\ 3M_\odot \cdot \sqrt[3]{10}^2 \cdot R^2 \omega_E &= \frac{4}{3}\pi\rho_t r^3 \cdot r^2\omega_T \quad \parallel : (3M_\odot \sqrt[3]{10}^2 R^2) \\ \omega_E &= \frac{\frac{4}{3}\pi\rho_t r^5\omega_T}{3M_\odot \sqrt[3]{10}^2 R^2} \\ \omega_E &= \frac{\frac{4}{3}\pi \cdot 4,0 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (15 \cdot 10^3 \text{ m})^5 \cdot 2\pi \cdot 30,2 \frac{1}{\text{s}}}{3 \cdot 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg} \cdot \sqrt[3]{10}^2 \cdot (6,960 \cdot 10^8 \text{ m})^2} \\ \omega_E &= 1,79949 \dots \cdot 10^{-8} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \end{aligned} \quad 1 \text{ p (8 p)}$$

Pyörähdysaika on

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi}{\omega_E} = \frac{2\pi}{1,79949 \dots \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{s}}} \\ &= 3,4916 \dots \cdot 10^8 \text{ s} = \frac{3,4916 \dots \cdot 10^8}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \text{ a} \\ &= 11,0719 \dots \text{ a} \\ &\approx 11 \text{ a.} \end{aligned}$$

Vastaus: Emotähden pyörähdysaika oli 11 vuotta.

1 p (9 p)

+13. Vuoden 2011 alussa Suomessa tuli myyntiin bensiini 95 E10, johon on sekoitettu 10 % etanolia.

- Miksi bensiiniin sekoitetaan etanolia? (2 p.)
- Kuinka monta prosenttia bensiinimoottorin polttoaineenkulutus kasvoi, kun siirryttiin käyttämään 95 E10 -bensiniä vanhan 95E-bensiinin sijasta? 95E-bensiinissä oli 5 % etanolia. (2 p.)
- Mitä muita vaihtoehtoja bensiinille on etanolin lisäksi tieliikenteen energialähteenä? Tarkastele vaihtoehtojen etuja ja haittoja. (5 p.)

*Ratkaisu.*

- Bensiiniin sekoitetaan etanolia, koska biopolttoaineiden osuutta liikenne-polttoaineiden käytössä halutaan lisätä. Biopolttoaineet ovat pääasiassa uusiutuvia energianlähteitä, minkä vuoksi niiden käytön katsotaan vähentävän nettomääräisiä hiilidioksidipäästöjä. Tästä positiivisesta vaikutuksesta ei tosin aina olla yhtä mieltä, koska polttoaineen valmistukseen tarvittavan biomassan uudistumisnopeus voi olla hidasta, viljelysten tieltä saatetaan raivata muuta kasvillisuutta tai polttoaineen tuottamiseen kuluu merkittävä määrä energiaa. 2 p

- Oletetaan moottorin hyötysuhteen pysyvän samana polttoainelaadusta riippumatta.

Lasketaan, kuinka suuri määrä eri bensiinilaatuja tarvitaan tuottamaan sama energia  $Q$ .

Polttoaineiden lämpöarvot ovat

$$H_B = 43,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

$$H_E = 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

$$95\text{E: } Q = 0,95m_1H_B + 0,05m_1H_E$$

$$m_1(0,95H_B + 0,05H_E) = Q \quad || : (0,95H_B + 0,05H_E)$$

$$m_1 = \frac{Q}{0,95H_B + 0,05H_E}$$

$$95\text{E10: } Q = 0,9m_2H_B + 0,1m_2H_E$$

$$m_2 = \frac{Q}{0,9H_B + 0,1H_E}$$

1 p (3 p)



Lasketaan suhde eri bensalaatujen tarvittaville määriille.

$$\begin{aligned}\frac{m_2}{m_1} &= \frac{\frac{\emptyset}{0,9H_B+0,1H_E}}{\frac{\emptyset}{0,95H_B+0,05H_E}} \\ \frac{m_2}{m_1} &= \frac{0,95H_B + 0,05H_E}{0,9H_B + 0,1H_E} \\ \frac{m_2}{m_1} &= \frac{0,95 \cdot 43,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} + 0,05 \cdot 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}}{0,9 \cdot 43,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} + 0,1 \cdot 26,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} \\ &= 1,01984 \dots \\ &\approx 1,020\end{aligned}$$

Vastaus Kulutus kasvoi 2,0 %. 1 p (4 p)

c) Maakaasu ja nestekaasu

Maakaasu ja nestekaasu palavat puhtaammin kuin bensiini ja tuottavat vähemmän hiilidioksidia. Kaasun käyttö vähentää erityisesti lähiympäristölle vaarallisia typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjä. Kumpikaan kaasu ei kuitenkaan ole uusiutuva energianlähde. 1 p (5 p)

Sähkö

Sähköauto ei tuota käytännössä ollenkaan välittömiä päästöjä. Tämä vähentää erittäin paljon saasteiden määrää ihmisten asuinympäristössä, koska päätöt syntyvät paljon kauempana sähkön tuotantopaikoilla. Hiilidioksidipäästöjen kannalta merkityksellistä on hiilidioksidin kokonaismäärä ilmakehässä, joten paikallisten päästöjen vähentyminen ei vähennä tätä ongelmaa. Ratkaisevaa on se, millä tavalla sähkö on tuotettu. Sähköautoissa sähköenergia joudutaan varastoimaan akkuihin, jotka nykyisellään ovat ongelmajätettä. Lisäksi akut täytyy uusien suhteellisen usein ja ne ovat kalliita. Toimintasäde on sähköautolla yleensä melko lyhyt, mutta tältä ongelmalta vältetään hybridiratkaisulla, jossa autossa on sekä poltto- että sähkömoottori. 1 p (6 p)

Diesel

Dieselin etuja bensiiniin verrattuna ovat matalammat hiilidioksidipäästöt ja haittapuolena on korkeammat typenoksidipäästöt. 1 p (7 p)

Biodiesel

Biodiesel on uusiutuvista raaka-aineista valmistettu dieseliä vastaava polttoaine. Biodieselin käyttöönottoa on hidastanut heikko taloudellinen kannattavuus ja epäsuorat ympäristövaikutukset. Biodieselin raaka-aineena käytettyjen kasvien tuotannossa tarvitaan viljelysmaata. Jos viljelysalan raivaamiseksi joudutaan tuhoamaan esimerkiksi sademetsää,

niin nettohyöty hiilidioksin määrässä voi olla negatiivinen tai ainakin hyvin vähäinen. ┘ 1 p (8 p)

Vety

Vedystä voidaan vapautta energiaa polttokennoilla sähköautoihin tai vaihtoehtoisesti polttomoottorin avulla bensiiniä vastaavalla tavalla. Kummassakaan vaihtoehdossa ei synny hiilidioksidipäästöjä ja muutkin päästöt ovat vähäisempiä kuin bensiinikäyttöisellä polttomoottorilla. Vedyn taloudellinen ja turvallinen tuottaminen, varastointi ja kuljetus ovat kuitenkin osoittautuneet toistaiseksi liian vaikeiksi ongelmiksi ratkaista. Vetykäyttöisiä ajoneuvoja ei ole laajamittaisesti käytössä. ┘ 1 p (9 p)