FYSIIKAN KOE 13.3.2013 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

Alla oleva vastausten piirteiden ja sisältöjen luonnehdinta ei sido ylioppilastutkintolautakunnan arvostelua. Lopullisessa arvostelussa käytettävistä kriteereistä päättää tutkintoaineen sensorikunta.

Fysiikan tehtävä vaatii aina perustellun vastauksen, ellei tehtävänannossa ole toisin mainittu. Kypsyyttä osoittava vastaus on jäsennelty ja asiasisällöltään johdonmukainen. Suorituksesta tulee ilmetä, miten vastaukseen on päädytty. Tilannekuviot, voimakuviot, kytkentäkaaviot, graafiset esitykset ovat usein suotavia, toisinaan välttämättömiä. Esimerkiksi voimakuviot ovat usein oleellinen osa ratkaisun perustelua. Voimakuvioiden ja graafisten esitysten pitää olla selkeitä ja yleisten standardien mukaisia sekä fysikaalista tilannetta kuvaavia. Matemaattista käsittelyä edellyttävissä tehtävissä suureyhtälöt ja kaavat on perusteltava tavalla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen. Täydellisessä ratkaisussa sovelletaan asianmukaista periaatetta tai lakia. Ratkaisussa on myös oltava tarvittavat laskut sekä muut riittävät perustelut ja lopputulos.

Asiatekstin tuottamista edellyttävissä vastauksissa kiinnitetään huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- tietojen yhdistely ja opitun soveltaminen
- vastauksen jäsentely
- fysikaalisen tilanteen tarkastelu
- ilmiön tunnistaminen
- tarpeellisten kuvioiden piirtäminen
- ilmiötä kuvaavat suureet ja lait
- malli ja sen soveltamisedellytykset
- lakeja vastaavat suureyhtälöt yleisessä ja mallin edellyttämässä erityismuodossa.

Laskemista edellyttävissä osioissa pyritään suureyhtälömuotoiseen ratkaisuun, jonka jälkeen tehdään lukuarvosijoitukset yksikköineen. Tuloksen tarkastelussa kiinnitetään huomiota tuloksen järkevyyteen ja tuloksen ilmoitustarkkuuteen.

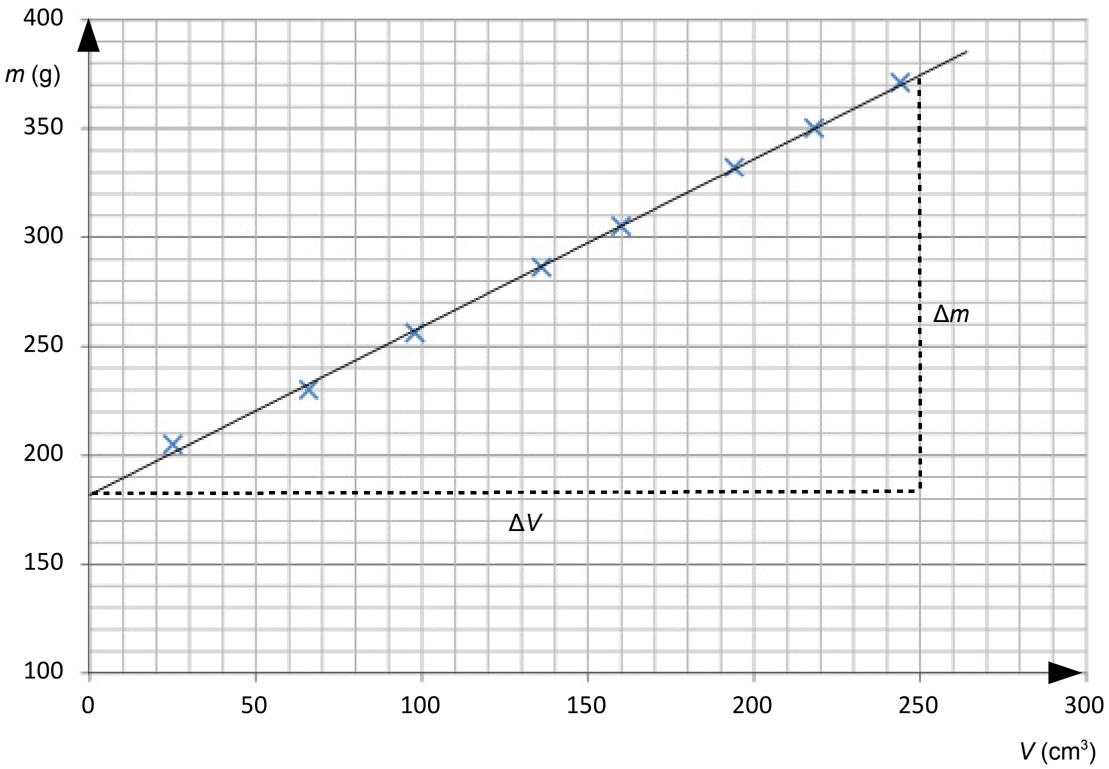
Tehtävien ratkaisemisessa pelkkä laskimella saatu vastaus ei riitä. Laskimesta saatu tulos riittää laajempien tehtävien rutiiniosissa. Jos laskinta käytetään esim. yhtälöiden ratkaisemiseen, lausekkeiden muokkaamiseen, suoran sovittamiseen, funktioiden derivointiin tai integrointiin, tämän on käytävä ilmi suorituksesta. Laskin on kokeen apuväline, jonka rooli arvioidaan tehtäväkohtaisesti.

Tehtävä 1

a) väärin, **b)** väärin, **c)** oikein, **d)** oikein, **e)** oikein, **f)** väärin

Tehtävä 2

a)



(3 p.)

b) Sovitetaan suora mittauspisteisiin. Suoran yhtälö on $m = \rho V + m_0$, jossa ρ on asetonin tiheys ja m_0 on mittalasin massa. Asetonin tiheys saadaan pisteisiin sovitetun suoran kulmakertoimesta. Kuvaajasta ilmenee kulmakertoimen määritys, tai todetaan, että kulmakerroin on laskettu laskimen suoransovituksella.

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{(375-182)\text{ g}}{250\text{ cm}^3} \approx 0{,}77\text{ g/cm}^3$$

(2 p.)

c) Mittalasin massa saadaan kuvaajalta pisteestä, jossa suora leikkaa *m*-akselin: massa $m_0 = 180$ g.

(1 p.)

Tehtävä 3

a) Näytteen sulaessa sen lämpötila pysyy vakiona, vaikka näytteeseen tuodaan lämpöä. Sulamista kuvaava osa kuvaajaa on näin ollen käyrän ensimmäinen vaakasuora osa, joka on alimmassa lämpötilassa näytteellä 3. Alhaisin sulamispiste on näytteellä 3.

b) Näytteen höyrystyessä sen lämpötila pysyy vakiona. Höyrystymistä kuvaava osa kuvaajaa on näin ollen käyrän toinen vaakasuora osa. Suurin höyrystymislämpö on näytteellä, jolle höyrystyminen kestää pisimpään.

$Q = P\Delta t = rm$, missä lämmitysteho *P* sekä massa m ovat samat kaikille näytteille, ja *Q* on näytteeseen tuotu lämpöenergia.

Ominaishöyrystymislämpö $r = \frac{P}{m}\Delta t$, joten suurin ominaishöyrystymislämpö on sillä näytteellä, jonka höyrystyminen kestää pisimmän ajan Δt, eli näytteellä 1. Kaavan voi korvata vastaavalla sanallisella selityksellä.

c) Aineella, jonka kuvaajan kulmakerroin nesteenä on suurin, on pienin ominaislämpökapasiteetti. $Q = P\Delta t = cm\Delta T$, joten ominaislämpökapasiteetille saadaan lauseke

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{P\Delta t}{m\Delta T} = \frac{P}{m\left[\frac{\Delta T}{\Delta t}\right]}$$

Teho *P* ja massa *m* ovat vakioita, joten pienin ominaislämpökapasiteetti on aineella, jonka kulmakerroin $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ on suurin, eli näytteellä 3. Kaavan voi korvata vastaavalla sanallisella selityksellä.

Tehtävä 4

a) Äänen intensiteettitaso $L = (10\text{ dB})\lg\frac{I}{I_0}$, jossa I on äänen intensiteetti ja I_0 = 1 pW/m^2

$$\frac{L}{10} = \lg\frac{I}{I_0}$$

$10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0}$ L = 55 dB

$$I = 10^{\frac{55}{10}} \cdot I_0 = 10^{5,5} \cdot 10^{-12}\text{ W/m}^2 = 10^{-6,5}\text{ W/m}^2$$

Puhujan äänen teho jakautuu *r*-säteisen pallon pinta-alalle, *r* = 3,0 m

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$P = 4\pi r^2 \cdot I = 4\pi \cdot (3{,}0\text{ m})^2 \cdot 10^{-6,5}\text{ W/m}^2 = 3{,}5764518 \cdot 10^{-5}\text{W} \approx 36\ \mu\text{W}$$

b) Viiden ihmisen äänen intensiteetti $I_5 = 5I$

Viiden ihmisen äänen intensiteettitaso

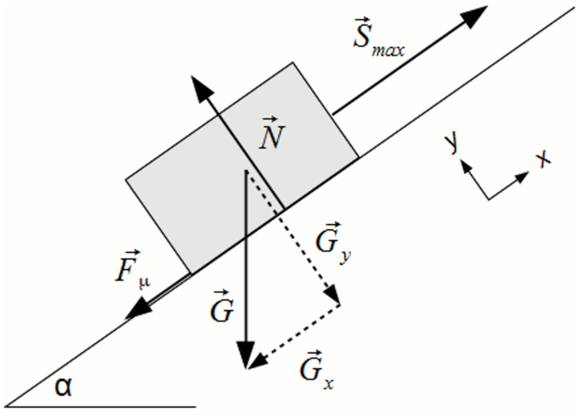
$$L_5 = 10\lg\frac{5I}{I_0}\text{dB} = 10\left(\lg 5 + \lg\frac{I}{I_0}\right)\text{dB} = \left(10\lg 5 + 10\lg\frac{I}{I_0}\right)\text{dB} = (10\lg 5 + 55)\text{ dB}$$

$= 61{,}989700\text{ dB} \approx 62\text{ dB}$

Tehtävä 5

Laatikko on levossa, joten Newton II:n mukaan siihen kohdistuvien voimien summa $\sum \vec{F} = \vec{0}$.

Kuva 1 esittää tilannetta, jossa kysytty voima on suurin mahdollinen, eli laatikko ei juuri ja juuri lähde liukumaan lastaussiltaa ylöspäin.



Kuva 1

Tason suunnassa (x-suunta) laatikkoon vaikuttavat voima $\vec{S}_{\max}$, lepokitka $\vec{F_\mu}$ ja painon sillan suuntainen komponentti $\overrightarrow{G_x}$; $\overrightarrow{G_x} + \overrightarrow{F_\mu} + \overrightarrow{S_x} = \vec{0}$.

Tasoa vastaan kohtisuorassa laatikkoon vaikuttavat pinnan tukivoima $\vec{N}$ ja painon siltaa vastaan kohtisuora komponentti $\overrightarrow{G_y}$; $\overrightarrow{G_y} + \vec{N} = \vec{0}$.

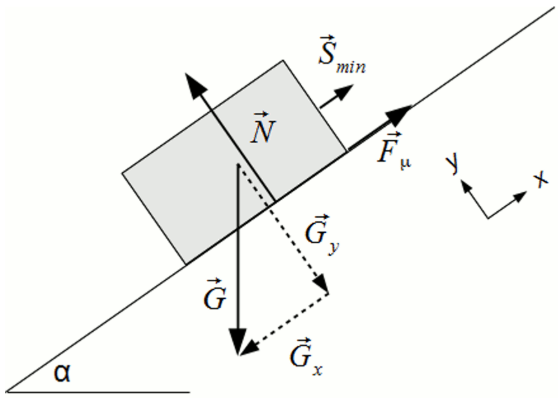
Täysin kehittynyt lepokitka

$$F_\mu = -\mu N = -\mu mg \cos\alpha = -0{,}52 \cdot 425\ \mathrm{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \cos 35° = -1775{,}9298\ \mathrm{N}$$

$$G_x = -mg \sin\alpha = -425\ \mathrm{kg} \cdot 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \sin 35° = -2391{,}3836\ \mathrm{N}$$

$S_{\max} = -G_x - F_\mu = 4167{,}3134\ \mathrm{N} \approx 4200\ \mathrm{N}$

Kuva 2 esittää tilannetta, jossa kysytty voima on pienin mahdollinen. Koska $|F_\mu| < |G_x|$, laatikkoa täytyy tukea sillan suuntaisella voimalla ylöspäin silloinkin, kun kitkavoima suuntautuu ylöspäin.

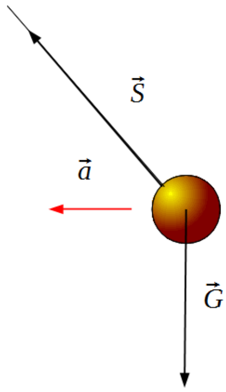


Kuva 2

$F_\mu = 1775{,}9298\ \mathrm{N}$

$S_{\min} = -G_x - F_\mu = 615{,}45373\ \mathrm{N} \approx 620\ \mathrm{N}$

Tehtävä 6

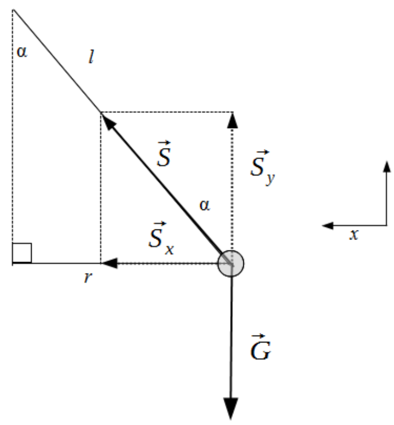


a) Palloon kohdistuvat voimat ovat langan jännitysvoima $\vec{S}$ ja paino $\vec{G}$. Pallo on keskeisliikkeessä, jonka kiihtyvyys suuntautuu kohti ympyräradan keskipistettä.

b) Laskuissa käytetään apuna (*x*,*y*)-koordinaatistoa, jossa voimat jaetaan komponentteihin vaaka- ja pystysuunnassa.

Newton II:

Pystysuunnassa pallon liike ei muutu, joten pystysuunnassa palloon kohdistuvat voimat kumoavat toisensa.



$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$S_y = -G = mg$

Vaakasuunnassa pallo kiertää ympyrärataa, joten sillä on radan keskipistettä kohti suuntautuva normaalikiihtyvyys.

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(\frac{2\pi r}{T})^2}{r} = \frac{(\omega r)^2}{r} = \omega^2 r$$

jossa ω on pallon liikkeen kulmanopeus ja *r* on radan säde.

Vaakasuunnassa ainoa palloon kohdistuva voima on langan jännitysvoiman vaakasuora komponentti, joka siis aiheuttaa pallolle normaalikiihtyvyyden NII:n mukaisesti.

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

$$S_x = m\omega^2 r \text{ , } r = l \sin\alpha$$

$$mg \tan\alpha = m\omega^2 l \sin\alpha$$

$$\frac{g}{\cos\alpha} = \omega^2 l$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l\cos\alpha}}$$

Kiertoliikkeen jaksonaika:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\alpha}{g}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{1{,}25 \text{ m} \cdot \cos 41°}{9{,}81 \text{ m/s}^2}}$$

$= 1{,}9484547 \text{ s} \approx 1{,}9 \text{ s}$

c) Kuviosta $\cos\alpha = \frac{S_y}{S} = \frac{mg}{S}$

$$S = \frac{mg}{\cos\alpha} = \frac{0{,}087 \text{ kg} \cdot 9{,}81 \text{ m/s}^2}{\cos 41°} = 1{,}1308588\text{N} \approx 1{,}1 \text{ N}$$

Tehtävä 7

a) Kondensaattorilevyjen säde on *r* = 0,09 m ja etäisyys toisistaan 0,0057 m.

Levykondensaattorin kapasitanssi $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$, jossa

ε_0 on sähkövakio

ε_r on väliaineen suhteellinen permittiivisyys

A on kondensaattorilevyjen pinta-ala ja *d* niiden etäisyys toisistaan.

Ilmalle $\varepsilon_r \approx 1$, joten se voidaan jättää pois lausekkeesta.

$C_\mathrm{a} = \varepsilon_0 \frac{\pi r^2}{d} = 8{,}85419 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F/m} \cdot \frac{\pi \cdot (0{,}09\ \mathrm{m})^2}{0{,}0057\ \mathrm{m}} = 3{,}9528367 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{F}$

Kondensaattorin varaus:

$Q_\mathrm{a} = C_\mathrm{a} U_\mathrm{a} = 3{,}9528367 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{F} \cdot 48\ \mathrm{V} = 1{,}8973616 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{C} \approx 1{,}9\ \mathrm{nC}$

Kondensaattorin energia:

$E_\mathrm{a} = \frac{1}{2} C_\mathrm{a} U_\mathrm{a}^2 = \frac{1}{2} \cdot 3{,}9528367 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{F} \cdot (48\ \mathrm{V})^2 = 4{,}5536679 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{J} \approx 4{,}6 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{J}$

b) Levyjen etäisyys toisistaan on 0,025 m.

$C_\mathrm{b} = 8{,}85419 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F/m} \cdot \frac{\pi \cdot (0{,}09\ \mathrm{m})^2}{0{,}025\ \mathrm{m}} = 9{,}0124677 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F}$

Kondensaattori on eristetty ympäristöstä, joten sen varaus ei muutu: $Q_\mathrm{b} \approx 1{,}9\ \mathrm{nC}$.

Kondensaattorin jännite:

$$U_\mathrm{b} = \frac{Q_\mathrm{b}}{C_\mathrm{b}} = \frac{1{,}8973616 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{C}}{9{,}0124677 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F}} = 210{,}52632\ \mathrm{V}$$

Kondensaattorin energia:

$E_\mathrm{b} = \frac{1}{2} C_\mathrm{b} U_\mathrm{b}^2 = \frac{1}{2} \cdot 9{,}0124677 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F} \cdot (210{,}52632\ \mathrm{V})^2$

$= 1{,}9972228 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{J} \approx 2{,}0 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{J}$

c) Kondensaattorin energia kasvaa. Energia tulee sähköstaattista voimaa vastaan tehdystä työstä, joka tehdään kondensaattorilevyjen vetämiseksi kauemmaksi toisistaan.

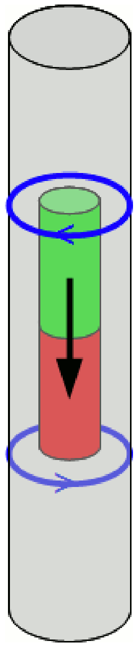
Tehtävä 8

a) Induktiolain mukaisesti johdinsilmukkaan indusoituu muuttuvassa, silmukan tasoa vastaan kohtisuorassa magneettikentässä jännite $U = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t}$, jossa Φ on silmukan läpäisevä magneettivuo, B on magneettivuon tiheys ja A on silmukan pinta-ala.

Kun johdin kääntyy kulman Δα, silmukan pinta-alan muutos on $\Delta A = \frac{\Delta\alpha}{2\pi}\pi r^2 = \frac{r^2}{2}\Delta\alpha$
Indusoituva jännite:

$$U = -\frac{Br^2}{2} \cdot \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = -\frac{Br^2}{2} \cdot \omega = -\frac{76 \cdot 10^{-3}\mathrm{T} \cdot (0{,}36\ \mathrm{m})^2}{2} \cdot 12{,}6\ \mathrm{s}^{-1} = -0{,}0620525\ \mathrm{V}$$

Mittarin näyttämä jännite on 62 mV.



b) Kun magneetti putoaa putkessa, putken seinämät ovat muuttuvassa magneettikentässä. Putkeen indusoituu pyörrevirtoja, joiden suunnat ovat Lenzin lain mukaan sellaiset, että niiden synnyttämät magneettikentät pyrkivät vastustamaan magneettikentän muutosta. Tällöin pyörrevirtojen magneettikentät kohdistavat sauvamagneettiin sen liikettä vastaan suuntautuvan voiman. Tämä jarruttaa magneetin putoamista, joten magneetti putoaa putken läpi hitaammin kuin magnetoitumaton messinkitanko.

Magneetin pudotessa sen ja putken välillä vallitsee magneettinen vuorovaikutus. Magneettiin kohdistuu voima ylöspäin, joten NIII:n mukaan putkeen kohdistuu vastavoima alaspäin. Tämän vuoksi jousivaa'an näyttämä on putken massaa suurempi.

Tehtävä 9

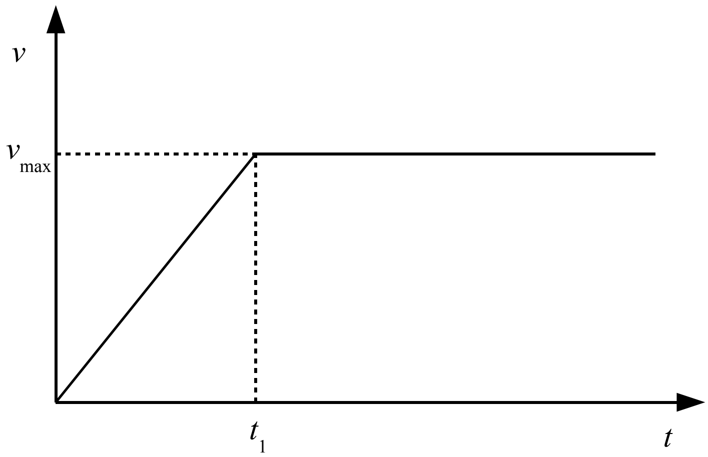
a) β^+-aktiivinen atomiydin hajoaa lähettämällä positronin, elektronin antihiukkasen, ja neutriinon. ${}^{22}_{11}$Na-ytimen tytärydin ${}^{22}_{10}$Ne on syntyessään virittyneessä tilassa, ja palatessaan perustilaan se lähettää fotonin, jonka energia on 1,28 MeV. Kun positroni kohtaa elektronin, positroni ja elektroni annihiloituvat, ja samalla yleensä syntyy kaksi fotonia, joiden energiat vastaavat elektronin lepomassaa 511 keV.

b) Kun radioaktiivinen ydin hajoaa kahteen osaan, esimerkiksi α-hajoamisessa, liikemäärän säilyminen ja massavajeesta vapautuva energia määräävät hajoamistuotteiden saamat liike-energiat. Tämä johtaa diskreettiin liike-energian jakaumaan. β-hajoamisessa ydin hajoaa lähettämällä elektronin tai positronin sekä antineutriinon tai neutriinon. Reaktioenergia jakautuu näin ollen kolmen hiukkasen kesken, tytärytimen, β-hiukkasen sekä neutriinon. Liikemäärä säilyy, mutta koska hiukkasia on kolme, β-hiukkasten liike-energian jakauma on jatkuva.

Tehtävä 10

a) Juoksu koostuu kiihdytysvaiheesta ja vakionopeusvaiheesta.

kiihdytysvaihe:	vakionopeusvaihe:
$x = \frac{1}{2}a_{\mathrm{max}}t^2$	$x = v_{\mathrm{max}}t + x_0$
$v = a_{\mathrm{max}}t$	$v = v_{\mathrm{max}}$



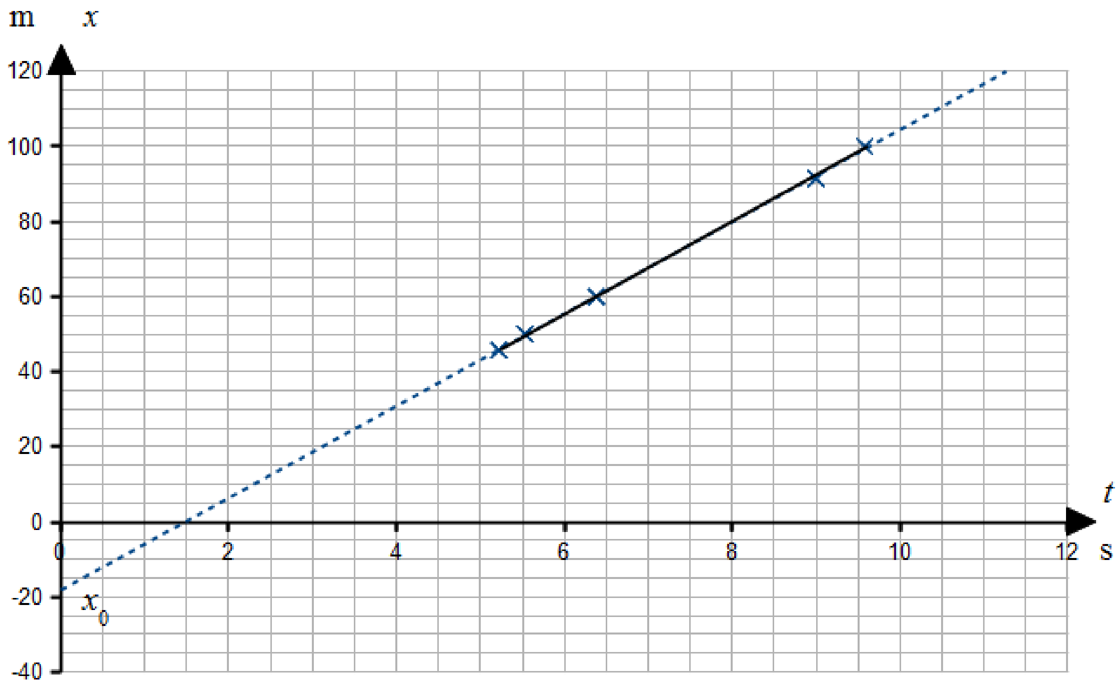
Hetkellä t_1 kiihtyvyys muuttuu vakionopeudeksi, joten pätee $a_{\mathrm{max}}t_1 = v_{\mathrm{max}}$.

(2 p.)

b) Piirretään funktion $x = f(t)$ kuvaaja annetuilla taulukkoarvoilla.

1 yd = 0,9144 m

t (s)	*x* (m)
5,22	45,72
5,53	50,00
6,38	60,00
9,00	91,44
9,58	100,00



Pisteet ovat suoralla, mikä osoittaa, että eri matkojen ennätysjuoksijat juoksevat maaliin tullessaan samalla huippunopeudella. Laskimella tehdystä suoransovituksesta saadaan

$v_{\max} = 12{,}262478\ \mathrm{m/s} \approx 12{,}3\ \mathrm{m/s}$

Koska $a_{\max} = \frac{v_{\max}}{t_1}$, saadaan kokonaismatkaksi hetkellä t

$$x = ½a_{\max}{t_1}^2 + v_{\max}(t - t_1) = ½\frac{v_{\max}}{t_1}{t_1}^2 + v_{\max}(t - t_1)$$

$$x = v_{\max}t - v_{\max}\frac{t_1}{2}$$

Pisteisiin sovitettu suora leikkaa x-akselin pisteessä $x_0 = -v_{\max}\frac{t_1}{2}\ (t = 0)$.

Laskimella tehdystä suoransovituksesta saadaan $x_0 = -18{,}146614\ \mathrm{m}$

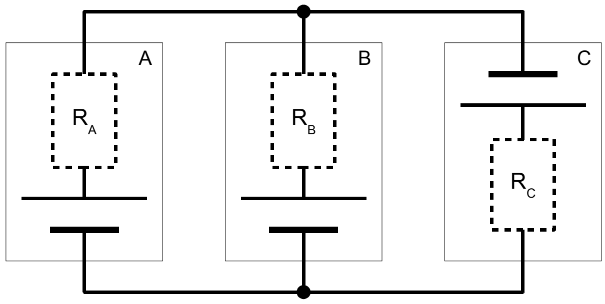
Ratkaistaan $t_1 = \frac{-2x_0}{v_{\max}} = \frac{-2\cdot -18{,}146614\ \mathrm{m}}{12{,}262478\ \mathrm{m/s}} = 2{,}9596979\ \mathrm{s} \approx 3{,}0\ \mathrm{s}$

$$a_{\max} = \frac{v_{\max}}{t_1} = \frac{12{,}262478\ \mathrm{m/s}}{2{,}9596979\ \mathrm{s}} = 4{,}1431518\ \mathrm{m/s^2} \approx 4{,}1\ \mathrm{m/s^2}$$

(4 p.)

Tehtävä 11

a) Kuvassa on tilannetta vastaava kytkentä. Paristo C on kytketty väärinpäin. Tällöin paristot A ja B ovat keskenään rinnan ja C on niiden kanssa sarjassa.



Samanlaisten paristojen rinnankytkennässä jännite ei muutu, joten paristojen A ja B yhteinen lähdejännite U_{AB} = 12 V.

Kokonaisjännite, joka kuljettaa virtaa pariston C läpi, on lähdejännitteiden summa: $U_{ABC} = U_{AB} + U_C$ = 24 V

Paristojen A ja B yhteinen resistanssi: $R_{AB} = 1/\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}\right) = 1/\left(\frac{2}{47\ \Omega}\right) = 23{,}5\ \Omega$

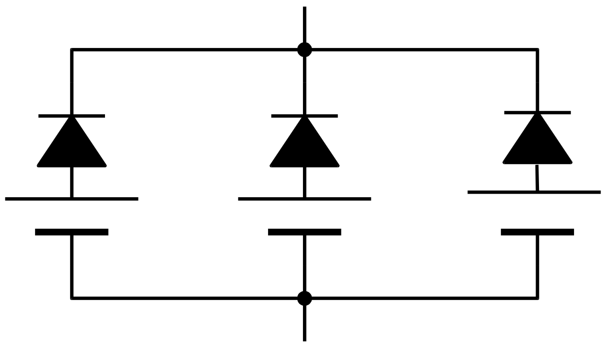
Kokonaisresistanssi: $R_{ABC} = 23{,}5\ \Omega + 47\ \Omega = 70{,}5\ \Omega$

Virta pariston C läpi: $I_C = \frac{U_{ABC}}{R_{ABC}}$

Pariston C lämpenemisteho on lämpöteho pariston sisäisessä vastuksessa R_C:

$P_C = R_C {I_C}^2 = R_C \left(\frac{U_{ABC}}{R_{ABC}}\right)^2 = 47\Omega \cdot \left(\frac{24\ \mathrm{V}}{70{,}5\ \Omega}\right)^2 = 5{,}4468085\ \mathrm{W} \approx 5{,}4\ \mathrm{W}$

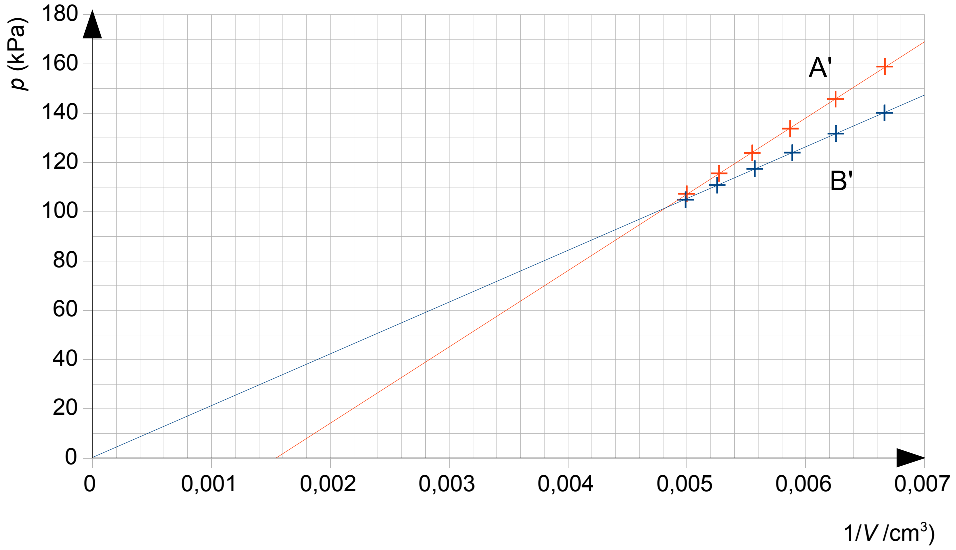
b) Diodi johtaa sähkövirtaa vain yhteen suuntaan. Paristojen väärästä kytkemisestä aiheutuvat vahingot voidaan estää kytkemällä diodit paristojen kanssa sarjaan kuvan mukaisesti.



Tehtävä +12

a) Poimitaan kuvaajilta (V,p)-pareja, piirretään prosesseille ($1/V,p$)-kuvaajat.

V (cm^3)	$1/V$ (cm^{-3})	p_A (kPa)	p_B (kPa)
150	0,00667	159	140
160	0,00625	146	132
170	0,00588	134	124
180	0,00556	124	117
190	0,00526	116	111
200	0,00500	107	105



Kuvaaja B:tä vastaava ($1/V,p$)-kuvaaja B' on origon kautta kulkeva suora, eli prosessi noudattaa Boylen lakia pV = vakio. Boylen laki pätee vain vakiolämpötilassa.

Isotermistä prosessia esittää kuvaaja B.

(3 p.)

b) Termodynamiikan I pääsääntö: kaasun sisäenergian muutos ΔU on kaasun ja ympäristön välillä siirtyneen lämpöenergian Q ja kaasuun tehdyn työn ΔW summa: $\Delta U = Q + \Delta W$. Adiabaattisessa prosessissa $Q = 0$, koska lämpöä ei ehdi siirtyä kaasusta pois. Tällöin kaasuun tehty työ kasvattaa kaasun sisäenergiaa. Tämä ilmenee lämpötilan nousuna.

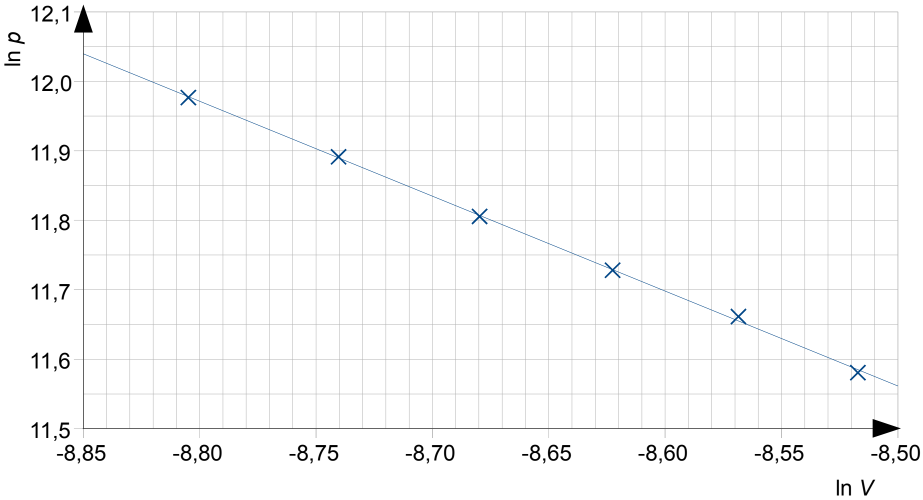
(2 p.)

c) Merkitään $pV^{\gamma} = D$, otetaan yhtälön molemmista puolista logaritmit.

$$\ln p + \gamma \ln V = \ln D$$
$$\ln p = -\gamma \ln V + \ln D$$

Tämä on suoran yhtälö (ln *V*, ln *p*)-koordinaatistossa. Poimitaan adiabaattisen prosessin A kuvaajalta pisteitä ja piirretään niistä (ln *V*, ln *p*) –kuvaaja.

V ($\cdot 10^{-3}$ m^3)	*p* ($\cdot 10^{3}$ Pa)	ln *V*	ln *p*
0,150	159	-8,805	11,98
0,160	146	-8,740	11,89
0,170	134	-8,680	11,81
0,180	124	-8,623	11,73
0,190	116	-8,568	11,66
0,200	107	-8,517	11,58



Pisteisiin sovitetun suoran kulmakertoimeksi saadaan laskimen suoransovitustoiminnolla -1,3659058. Adiabaattivakio on kulmakertoimen vastaluku.

Adiabaattivakio γ = 1,37**.**

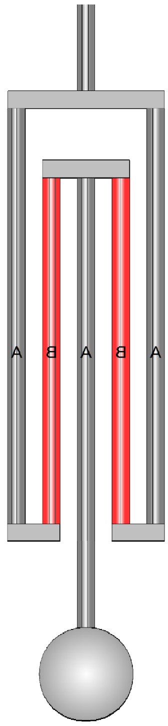
(4 p.)

Tehtävä +13

a) Vuorokausi (Maan pyörimisliike), vuosi (Maan rataliike Auringon ympäri), sekunti (ihmisen pulssi, sydämen syke).

(2 p.)

b) Heilurin jaksonaika riippuu heilurin varren pituudesta. Lämpötilan vaihdellessa yksinkertaisen heilurin varren pituus muuttuu lämpölaajenemisen seurauksena. Lämpötilakompensointi voidaan saada aikaan rakentamalla kellon heilurin varsi kahdesta tai useammasta materiaalista, joilla on erilainen pituuden lämpötilakerroin. Heilurin osat mitoitetaan ja kiinnitetään toisiinsa niin, että heilurin pituus ei riipu lämpötilasta. Kuvan heilurissa materiaalilla B on suurempi pituuden lämpötilakerroin kuin materiaalilla A.



(3 p.)

c) Paikanmäärityksessä tarvittavat pituusasteet voitiin käytännössä määrittää vain kellon avulla. Longitudin eli pituuspiirin määrittäminen perustuu jonkin tunnistettavan taivaankappaleen korkeuskulman mittaamiseen tiettyinä täsmällisinä havaintoajankohtina. Paikan määrityksessä käytetään hyväksi tähtinavigoinnin taulukkoja.

(2 p.)

d) Laivan heiluminen vaikuttaa tavallisen heilurikellon käyntiin ja aiheuttaa huomattavan virheen. Myös painovoiman kiihtyvyys vaihtelee sijainnin mukaan, ja myös se vaikuttaa haitallisesti heilurikellon tarkkuuteen.

(2 p.)