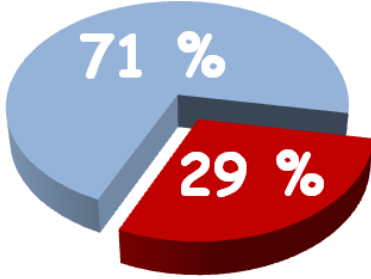


Tiesitkö tätä?

MAFY:n lääkiskurssi 2,5-kertaistaa mahdollisuutesi päästä sisään yhdellä yrityksellä. Poikkeuksellisen kovista tuloksista johtuen lääkikset alkavatkin täytyä MAFY:n kurssilaisista.



29 % vuonna 2016 Helsingin suomenkieliseen yleislääkikseen päässeistä tuli MAFY:n kurssilta.

Lääkiskurssi

- 5-8 täysmittaista harjoituspääsykoetta oikeassa koosalissa.
- Yksilöllinen opetus mahdollistaa etenemisen omassa tahdissa. Kaikissa ryhmissä on korkeintaan 16 oppilasta yhtä opettajaa kohden.
- Voit aloittaa valintasi mukaan 29.8., 31.10., 9.1., 20.2. tai 28.3. Oppitunnin ajankohdaksi voi yleensä valita aamun, iltapäivän tai illan.

DI-pääsykoekurssi

- Voit harjoitella matematiikkaa, fysiikkaa ja kemiaa pääsykoetta varten.
- 4 täysmittaista harjoituskoetta kustakin aineesta ja pitkällä kurssilla lisäksi 2 yo-harjoituskoetta kustakin aineesta.
- Pitkäkurssi 28.3.-26.5. ja kevätkurssi 20.2.-26.5.

Fysiikka, syksy 2015

Mallivastaukset, 14.9.2015

Mallivastausten laatimisesta ovat vastanneet filosofian maisteri Teemu Kekkonen ja diplomi-insinööri Antti Suominen. Antti ja Teemu ovat perustaneet MAFY-valmennuksen, jota ennen Teemu opetti 5 vuotta lukiossa ja Antti toimi tuntiopettajana TKK:lla. Nykyään Teemu vastaa MAFY:n Jyväskylän kursseista ja Antti vastaa Mafynetti-ohjelman kehityksestä. Muut mallivastaustiimin jäsenet ovat Sakke Suomalainen, Matti Virolainen ja Viljami Suominen. Nämä mallivastaukset ovat Antti Suominen Oy:n omaisuutta.

MAFY-valmennus on Helsingissä toimiva, valmennuskursseihin sekä matematiikan ja luonnontieteiden opetukseen erikoistunut yritys. Palveluitamme ovat

- lääketieteellisen valmennuskurssit
- DI-valmennuskurssit
- yo-kokeisiin valmentavat kurssit
- Mafynetti - sähköinen oppimateriaali.

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. Käyttö kaikissa kaupallisissa tarkoituksissa on kielletty. Lukion fysiikan opettajana voit käyttää tätä tehtäväpakettia oppimateriaalina lukiokursseilla.

MAFY-valmennuksen yhteystiedot:
www.mafyvalmennus.fi/yhteystiedot
info@mafyvalmennus.fi

1. Tarkastellaan energian muuntamista muodosta toiseen tapahtumissa *A*, *B* ja *C*. Tarkastellaan vain tapahtuman ilmenemisen kannalta oleellisia energianmuutoksia.

A. Kirja putoaa hyllyltä.

B. Paristoon kytketty hehkulamppu valaisee ja paristo tyhjenee.

C. Kuumailmapallon sisällä olevaa ilmaa lämmitetään nestekaasua polttamalla, jolloin pallo lähtee nousemaan.

Taulukossa on listattu nämä tapahtumat sekä energialajeja.

	Kappaleen liike-energia	Kappaleen potentiaalienergia	Kemiallinen energia (sisäenergia)	Säteilyenergia
A				
B				
C				

Kopioi taulukko vastauspaperiisi ja merkitse jokaiseen taulukon ruutuun:

+, jos tapahtumassa syntyy kyseistä energialajia.

–, jos tapahtumassa häviää kyseistä energialajia.

0, jos tapahtumassa ei synny eikä häviä kyseistä energialajia.

Ratkaisu.

	Kappaleen liike-energia	Kappaleen potentiaalienergia	Kemiallinen energia (sisäenergia)	Säteilyenergia
A	+	–	0	0
B	0	0	–	+
C	+	+	–	+

0.5p /
ruutu

Lisäselitys: Tapahtumassa C nestekaasun kemiallinen energia vähenee sitä poltettaessa ja kaasun palaessa syntyy lämpösäteilyä.

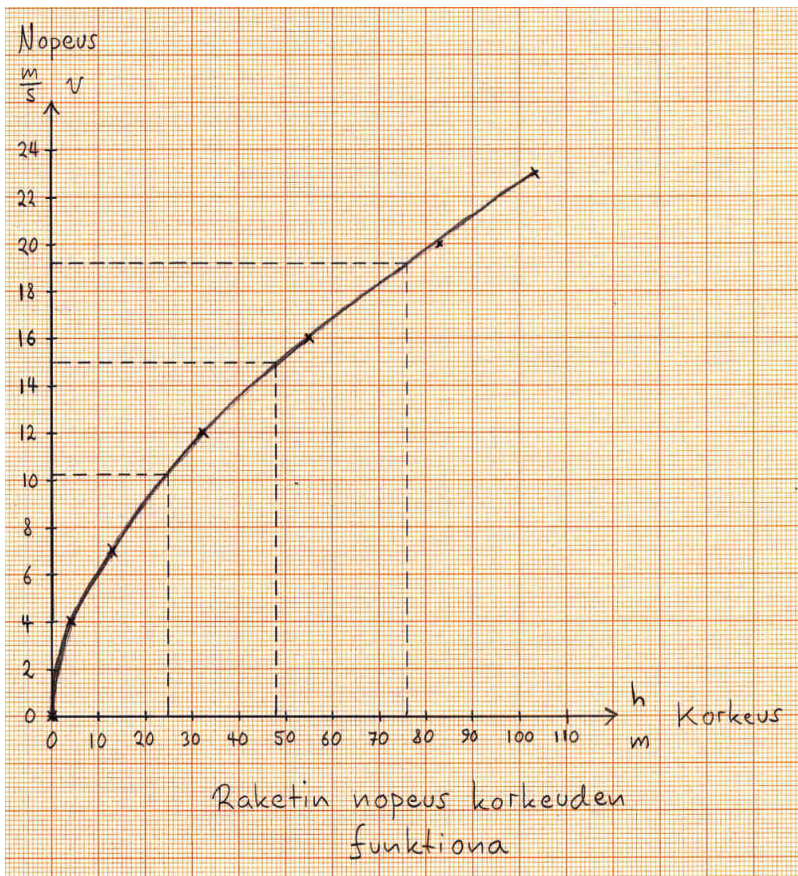
2. Saturn V -rakettia käytettiin Apollo-ohjelmassa kantorakettina. Heinäkuun 16. päivänä vuonna 1969 Saturn V lähetti ensimmäisen ihmisen Kuuhun Apollo 11 -lennolla. Taulukko esittää Saturn V -raketin lentokorkeuden ja nopeuden juuri laukaisun jälkeen.

h (m)	0	4	13	32	55	83	103
v (m/s)	0	4	7	12	16	20	23

- a) Piirrä raketin nopeuden kuvaaja lentokorkeuden funktiona. (3 p.)
- b) Määritä raketin nopeus, kun sen lentokorkeus on 76 m. (1 p.)
- c) Määritä raketin keskikiikthyvyys aikavälillä 4,0 s . . . 6,0 s, jolloin raketti nousee korkeudelta 25 m korkeuteen 48 m. (2 p.)

Ratkaisu.

a)



3p

b) Kuvaajan perusteella raketin nopeus korkeudella 76 m on $19,2 \text{ m/s} \approx \underline{\underline{19 \text{ m/s}}}$.

1p
(4p)

c) Kuvaajasta saadaan luettua, että raketin nopeus korkeudella 48 m on $15,0 \text{ m/s}$ ja korkeudella 25 m nopeus on $10,2 \text{ m/s}$.

1p
(5p)

Keskikihtiövyys oli siis

$$\begin{aligned} a_k &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{15,0 \text{ m/s} - 10,2 \text{ m/s}}{6,0 \text{ s} - 4,0 \text{ s}} \\ &= \underline{\underline{2,4 \text{ m/s}^2}}. \end{aligned}$$

1p
(6p)

3. Matti valmistaa mökkiolosuhteissa tiskivettä. Aluksi hän hakee sangolla 6,0 litraa järvivettä, jonka lämpötila on 19°C . Hän ottaa sangosta 1,2 litraa vettä ja lämmittää sen vedenkeittimellä lämpötilaan 95°C . Keittimessä veden lämmitys aika on 230 s. Vedenkeittimen arvokilvessä ilmoitetaan vedenkeittimen tehoksi 2,0 kW.

- a) Laske vedenkeittimen hyötysuhde. Lämmönvaihtoa ympäristön kanssa ei oteta huomioon.
 b) Matti kaataa kuumaa vettä takaisin sankoon ja sekoittaa. Kuinka suuri on tiskiveden loppulämpötila?

Ratkaisu.

$$m_0 = 6,0 \text{ l} \cdot 0,99841 \text{ kg/l} = 5,99046 \text{ kg}$$

$$t_0 = 19^{\circ}\text{C}$$

$$m_1 = 1,2 \text{ l} \cdot 0,99841 \text{ kg/l} = 1,198092 \text{ kg}$$

$$t_1 = 95^{\circ}\text{C}$$

$$t = 230 \text{ s}$$

$$P_{\text{otto}} = 2000 \text{ W}$$

a)

$$\eta = \frac{P_{\text{anto}}}{P_{\text{otto}}}$$

$$\eta = \frac{Q/t}{P_{\text{otto}}}$$

$$\eta = \frac{c_{\text{vesi}} \cdot m_1 \cdot (t_1 - t_0)}{t \cdot P_{\text{otto}}}$$

$$\eta = \frac{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \cdot 1,198092 \text{ kg} \cdot (95^{\circ}\text{C} - 19^{\circ}\text{C})}{230 \text{ s} \cdot 2000 \text{ W}}$$

$$\eta = 0,82939 \dots \approx \underline{\underline{83\%}}$$

1p

1p
(2p)

1p
(3p)

- b) Lämmin vesi luovuttaa yhtä suuren lämpömäärän kuin kylmä vesi vastaanottaa. Kylmän veden massa on

$$m_2 = m_0 - m_1 = 5,99046 \text{ kg} - 1,198092 \text{ kg} = 4,792368 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{luovutetut}} = Q_{\text{vastaanotetut}}$$

1p
(4p)

Merkitään loppulämpötilaa t_ℓ :llä.

$$\cancel{c_{\text{vesi}}}m_1(t_1 - t_\ell) = \cancel{c_{\text{vesi}}}m_2(t_\ell - t_0) \quad || : c_{\text{vesi}}$$

1p
(5p)

$$m_1t_1 - m_1t_\ell = m_2t_\ell - m_2t_0$$

$$\underbrace{(m_1 + m_2)}_{=m_0}t_\ell = m_1t_1 + m_2t_0 \quad || : m_0$$

$$t_\ell = \frac{m_1t_1 + m_2t_0}{m_0}$$

$$t_\ell = \frac{1,198092 \text{ kg} \cdot 95^\circ\text{C} + 4,792368 \text{ kg} \cdot 19^\circ\text{C}}{5,99046 \text{ kg}}$$

$$t_\ell = 34,2^\circ\text{C}$$

$$t_\ell \approx \underline{34^\circ\text{C}}$$

1p
(6p)

Pisteytyshuomio: Tehtävästä saa luultavasti myös täydet pisteet käyttämällä veden tiheydelle arvoa 1,0 kg/l. Laskussa käytettiin tarkempaa arvoa, koska taulukkokirjasta löytyy veden tiheydelle arvo juuri lämpötilassa 19 °C.

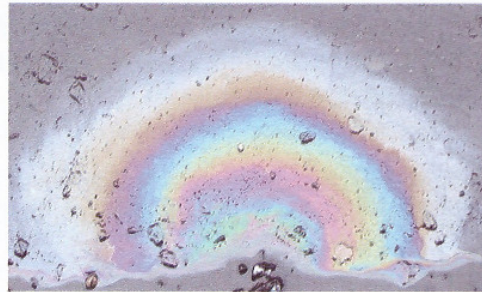
4. Selitä lyhyesti värien synty seuraavissa tilanteissa.

- a) Kun valkoinen valo osuu prismaan, ulos tulee suuntaa muuttanut viuhka-
mainen, monivärinen valo (kuva 1).
- b) Vesilätäkön pinnalla kelluvassa öljyläikässä näkyy värejä (kuva 2).



kuva 1

<<http://www.ljindustries.com>>. Luettu 27.10.2014.



kuva 2

<<http://en.wikipedia.org>>. Luettu 27.10.2014.

Ratkaisu.

- a) Valkoinen valo sisältää useita eri valon aallonpituuksia. Valkoisen luonnon-
valon spektri on jatkuva sisältäen kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia. 1p

Kun valo osuu prisman ulkopintaan, se taittuu prisman sisään niin, että taitekulma on pienempi kuin tulokulma. Prismasta ulos tullessaan valo taittuu lisää, taittuen pinnan normaalista poispäin. Prismasta muodosta johtuen taittumiset tapahtuvat niin, että valo muuttaa suuntaansa prisman läpi kuljettuaan.

1p
(2p)

Valon taitekerroin tietyssä materiaalissa riippuu valon aallonpituudesta. Aallonpituudeltaan pienimmän violetin valon taitekerroin on suurin ja se myös taittuu voimakkaimmin, kun taas aallonpituudeltaan suurin punainen valo taittuu vähiten. Tästä seuraa, että prisman läpäistyään eri värinen valo taittuu eri verran ja siksi prisma hajottaa valkoisen valon kuvan osoittamalla tavalla siten, että violetti valo taittuu eniten ja punainen vähiten ja siksi nämä värit erottuvat viuhkan äärilaitoihin.

1p
(3p)

- b) Veden pinnalla kelluva öljy muodostaa ohuen kalvon veden pinnalle. Kun valo osuu kahden aineen rajapintaan, osa valosta taittuu ja osa heijastuu. Näin ollen kalvolle osuva valo heijastuu osin ylemmältä, ilman ja öljyn väliseltä rajapinnalta ja osin alemmalta öljyn ja veden rajapinnalta. Ylemmältä ja alemmalta rajapinnalta heijastuneet valonsäteet voivat interferoida vahvistavasti tai heikentävästi.

1p
(4p)

Näistä kahdesta pinnasta peräisin oleva heijastunut valo on hieman eri vaiheessa kahdesta syystä: Ensinnäkin alemmasta pinnasta heijastunut valo

on kulkenut pidemmän matkan kuin ylemmästä heijastunut ja toisaalta ylemmästä pinnasta heijastunut valo on kokenut puolen aallonpituuden vaihesiirron, koska heijastuminen on tapahtunut aalto-opillisesti tiheimmästä aineesta, kun ilmasta tuleva valo kohtaa öljyn. Näin ollen, mikäli matkaero on puoli aallonpituutta, on vaihe-ero yhteensä kokonainen aallonpituus ja heijastuneet valot interferoivat vahvistavasti. Vastaavasti voidaan päätellä, että vahvistava interferenssi syntyy myös, kun matkaero rajapinnalta toiselle ja takaisin on $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ tai yleisesti $(k + \frac{1}{2})$ kertaa aallonpituus, jossa k on kokonaisluku. Ylhäältä katsottaessa valo heijastuu pinnasta likimain kohtisuorasti, jolloin matkaero on on kaksi kertaa öljykalvon paksuus.

1p
(5p)

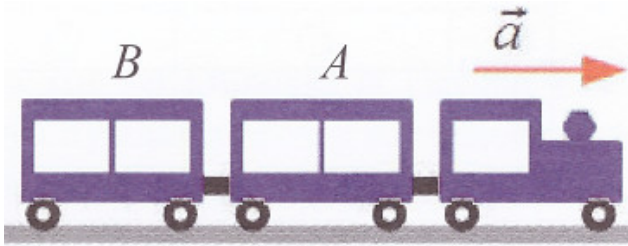
Pisteytyshuomio: Tästä kohdasta saa luultavasti täydet pisteet hieman epätarkemmallakin selityksellä.

Se, täyttyykö edellä mainittu ehto vahvistavalle interferenssille riippuu siis öljykalvon paksuudesta ja valon aallonpituudesta. Koska öljykalvon paksuus vaihtelee eri kohdissa läiskää, syntyy vahvistava interferenssi tietyssä kohdassa aina tietylle aallonpituudelle ja pinta näyttää eri kohdista eri väriseltä.

1p
(6p)

5. Huvipuistossa liikkuva minijuna koostuu veturiautosta sekä kahdesta ihmisiä kuljettavasta vaunusta. Juna lähtee liikkeelle kiihtyvyydellä $0,32 \text{ m/s}^2$ kuvassa esitettyyn suuntaan. Veturiauton massa kuljettajineen on 650 kg , ja yhden vaunun massa matkustajineen on 750 kg .

- a) Piirrä kolme kuviota, joista ilmenevät veturiautoon sekä molempiin vaunuihin vaikuttavat voimat liikkeelle lähettäessä. Ilmanvastusvoimaa ja vierimiskitkaa ei huomioida.
- b) Kuinka suuret vaakasuuntaiset voimat vaikuttavat vaunuun A, kun juna lähtee liikkeelle?

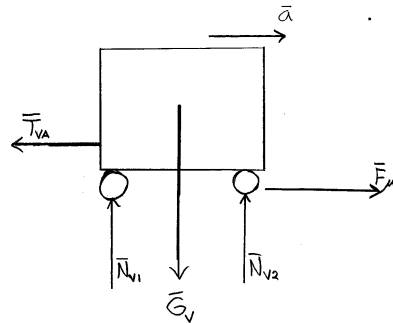


Ratkaisu.

a)

Veturiin vaikuttaa pystysuunnassa sen oma painovoima \vec{G}_V , sekä pyöriin kohdistuvat tukivoimat \vec{N}_{V1} ja \vec{N}_{V2} , joiden summa on painovoiman suuruinen. Vaakasuunnassa veturiin vaikuttaa kiihdyttävä kitkavoima \vec{F}_μ sekä veturin ja vaunun A välinen vetävä voima T_{VA} .

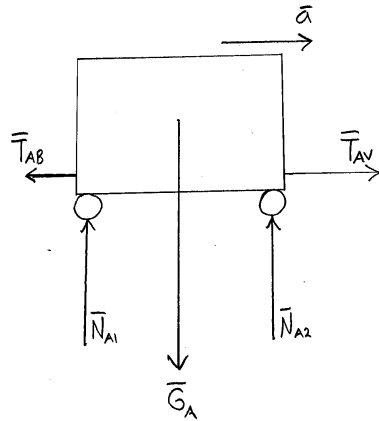
Veturi:



1p

Vaunu A:

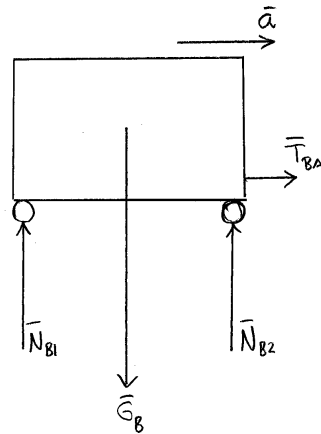
Vaunuun A vaikuttaa pysty-suunnassa sen painovoima \vec{G}_A sekä pyöriin kohdistuvat tukivoimat \vec{N}_{A1} ja \vec{N}_{A2} , joiden summa on vaunun painovoiman suuruinen. Vaakasuunnassa vaunuun A vaikuttaa veturin siihen kohdistama vetävä voima \vec{T}_{AV} ($T_{AV} = T_{VA}$) sekä vaunun B siihen kohdistama vetävä voima \vec{T}_{AB} .



1p
(2p)

Vaunu B:

Vaunuun B vaikuttaa pysty-suunnassa sen painovoima \vec{G}_B sekä pyöriin kohdistuvat tukivoimat \vec{N}_{B1} ja \vec{N}_{B2} , joiden summa on vaunun painovoiman suuruinen. Vaakasuunnassa vaunuun B vaikuttaa ainoastaan vaunun A siihen kohdistama vetävä voima \vec{T}_{BA} . ($T_{BA} = T_{AB}$)



1p
(3p)

Pisteytyshuomio: Aivan näin tarkkoja selityksiä tuskin vaaditaan täysiin pisteisiin. Kuvasta voi saada osapisteitä, jos virhe on vähäinen.

- b) Vaunun B vaunuun A kohdistama vetävä voima T_{AB} on Newtonin III lain nojalla yhtä suuri kuin vaunun A vaunuun B kohdistama vetävä voima T_{BA} .

0.5p
(3.5p)

Vaunun B massa on $m_B = 750 \text{ kg}$ ja kiihtyvyys $a = 0,32 \text{ m/s}^2$, joten Newtonin II lain mukaisesta liikeyhtälöstä vaunulle B saadaan

$$\begin{aligned} T_{BA} &= m_B a \\ &= 750 \text{ kg} \cdot 0,32 \text{ m/s}^2 \\ &= 240 \text{ N}. \end{aligned}$$

1p
(4.5p)

Myös vaunun A massa on $m_A = 750 \text{ kg}$ ja kiihtyvyys $a = 0,32 \text{ m/s}^2$, joten Newtonin II lain mukaisesta liikeyhtälöstä vaunulle A saadaan

$$\bar{T}_{AV} + \bar{T}_{AB} = m_A a$$

$$T_{AV} - T_{AB} = m_A a$$

$$T_{AV} = T_{AB} + m_A a$$

$$= 240 \text{ N} + 750 \text{ kg} \cdot 0,32 \text{ m/s}^2$$

$$= 480 \text{ N}.$$

1.5p
(6p)

Vastaus: Vaunuun A vaikuttaa veturin siihen kohdistama vetävä 480 N suuruinen voima kiihtyvyyden suuntaan ja vaunun B siihen kohdistama vetävä 240 N suuruinen voima kiihtyvyyden kanssa vastakkaiseen suuntaan.

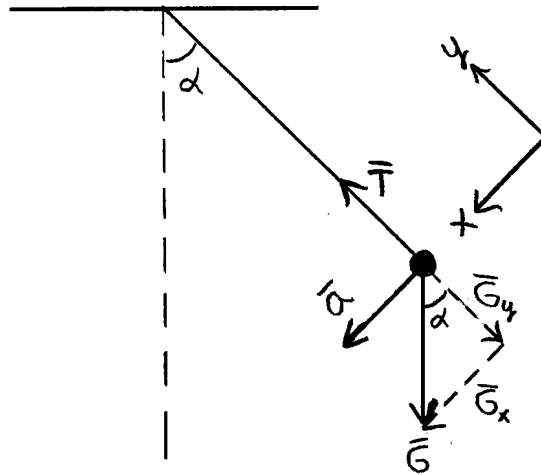
6. Lapsen keinuessa keinun heilahduksen suurin poikkeama tasapainoasemasta on 45° . Keinun köydet ovat 2,5 m pitkät. Määritä lapsen nopeuden ja kiihtyvyyden suuruudet hetkellä, jolloin keinu on

- ääriasemassa
- tasapainoaseman kohdalla.

Keinua ja lasta voidaan mallintaa köysien pituisella matemaattisella heilurilla.

Ratkaisu. Mallinnetaan tehtävänannon mukaisesti keinua ja lasta matemaattisella heilurilla, jonka pituus on $\ell = 2,5$ m.

- Ääriasemassa heilurin nopeus on **hetkellisesti nolla**. Piirretään keinuvan lapsen voimakuvio ja jaetaan voimat langan suuntaisiin ja lankaa vastaan kohtisuoriin komponentteihin.



1p

Tehtävänannon mukaan ääriasemassa $\alpha = 45^\circ$. Painovoiman komponentit ovat

$$G_y = \cos(\alpha)G$$

$$G_x = \sin(\alpha)G.$$

Lanka ei veny ja keinuvan lapsen nopeus on hetkellisesti nolla, joten keskeiskiihtyvyys $a_n = v^2/\ell$ on nolla, eli langan suuntaista kiihtyvyyttä ei ole.

1p
(2p)

Lankaa vastaan kohtisuorassa suunnassa keinuvaan lapseen vaikuttaa ai-noastaan painovoiman komponentti G_x , joten Newtonin II lain nojalla:

$$\begin{aligned} \bar{G}_x &= m\bar{a} \\ G_x &= ma \quad \parallel \text{Sij. } G_x = \sin(\alpha)G \\ \sin(\alpha)G &= ma \quad \parallel \text{Sij. } G = mg \\ \sin(\alpha)mg &= ma \\ a &= \sin(\alpha)g \\ &= \sin(45^\circ) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 6,9367 \dots \text{ m/s}^2 \\ &\approx 6,9 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

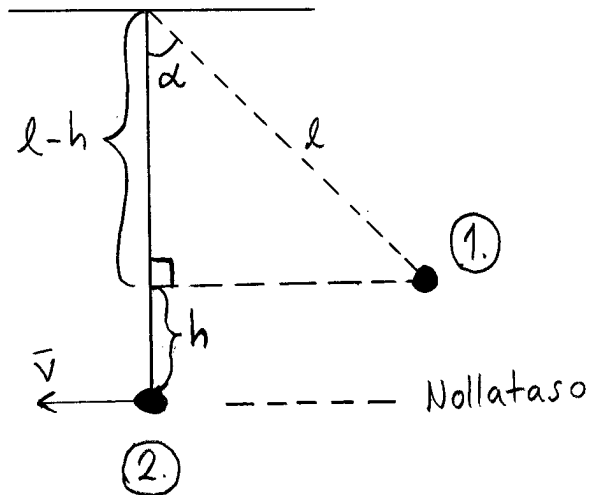
1p
(3p)

Vastaus: Ääriasemassa keinuvan lapsen nopeus on nolla ja kiihtyvyys on $6,9 \text{ m/s}^2$.

b) Tasapainoaseman kohdalla lanka on pystysuorassa.

Kuvan geometriasta saadaan:

$$\begin{aligned} \cos(\alpha) &= \frac{\ell - h}{\ell} \quad \parallel \cdot \ell \\ \ell \cos(\alpha) &= \ell - h \\ h &= \ell - \ell \cos(\alpha) \\ h &= \ell(1 - \cos(\alpha)). \end{aligned}$$



1p
(4p)

Mekaaninen energia säilyy heilahduksessa:

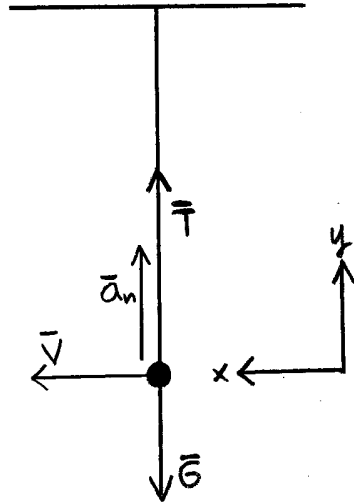
$$\begin{aligned}
 E_{p1} + \underbrace{E_{k1}}_0 &= \underbrace{E_{p2}}_0 + E_{k2} \\
 mgh &= \frac{1}{2}mv^2 \quad || \cdot \frac{2}{m} \\
 v^2 &= 2gh \quad || \text{Sij. } h = \ell(1 - \cos(\alpha)) \\
 v^2 &= 2g\ell(1 - \cos(\alpha)) \\
 v &= \sqrt{2g\ell(1 - \cos(\alpha))} \\
 &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot (1 - \cos(45^\circ))} \\
 &= 3,790305 \dots \text{ m/s} \\
 &\approx 3,8 \text{ m/s.}
 \end{aligned}$$

1p
(5p)

Piirretään voimakuvio tasapainoasemassa:

Keinuvaan lapseen ei vaikuta vaakasuuntaisia voimia, joten vaakasuuntaista kiihtyvyyttä ei ole. Koska lapsi on ympyräliikkeessä, sillä on langan suuntaan keskeiskiihtyvyys a_n .

$$\begin{aligned}
 a_n &= \frac{v^2}{\ell} \\
 &= \frac{(3,790305 \dots \text{ m/s})^2}{2,5 \text{ m}} \\
 &= 5,746564 \dots \text{ m/s}^2 \\
 &\approx 5,7 \text{ m/s}^2.
 \end{aligned}$$

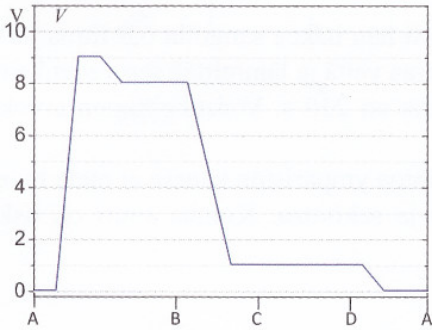


1p
(6p)

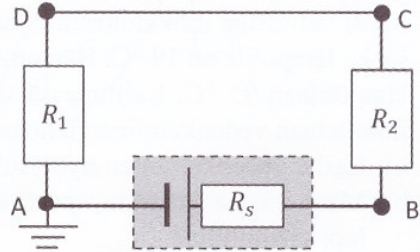
Vastaus: Tasapainoaseman kohdalla keinuvan lapsen nopeus on 3,8 m/s ja kiihtyvyys on 5,7 m/s².

7. Kuva 1 esittää tasavirtapiirin (kuva 2) potentiaalin kuvaajan. Vastuksien resistanssit ovat $R_1 = 2,0\Omega$ ja $R_2 = 14\Omega$. Vastaa perustellen seuraaviin kysymyksiin. Kuinka suuri on

- a) jännitelähteen napajännite
- b) jännitelähteen sisäinen resistanssi
- c) piirin virta?



kuva 1



kuva 2

Ratkaisu.

$$R_1 = 2,0\Omega$$

$$R_2 = 14\Omega$$

a) Jännitelähteen napajännite on

$$U_{BA} = V_B - V_A. \text{_____} \quad \boxed{1\text{p}}$$

Potentiaalin kuvaajasta luetaan

$$V_A = 0\text{ V},$$

$$V_B = 8,0\text{ V}.$$

Siten

$$U_{BA} = 8,0\text{ V} - 0\text{ V} = \underline{\underline{8,0\text{ V}}}. \text{_____} \quad \boxed{1\text{p} (2\text{p})}$$

b) Edellisen kohdan perusteella

$$U_{BA} = 8,0\text{ V}.$$

Siten vastusten R_1 ja R_2 sarjaankytkentä on jännitteessä U_{BA} ja Ohmin laista saadaan virtapiirissä kulkeva virta I seuraavasti: _____

$\boxed{1\text{p} (3\text{p})}$

$$U_{BA} = (R_1 + R_2)I$$

$$I = \frac{U_{BA}}{R_1 + R_2}$$

$$I = \frac{8,0 \text{ V}}{2,0 \Omega + 14 \Omega}$$

$$I = 0,50 \text{ A}$$

1p
(4p)

Potentiaalin kuvaajasta luetaan lähdejännitteen E arvo. Jännitelähde on ainoa komponentti, jossa potentiaali kasvaa tarkastelusuunnassa, joten potentiaalikuvaajassa tämä tapahtuu heti kuvaajan alussa. Siten

$$E = 9,0 \text{ V}$$

1p
(5p)

Napajännite on

$$U_{BA} = E - R_S I$$

$$R_S I = E - U_{BA}$$

$$R_S = \frac{E - U_{BA}}{I}$$

$$R_S = \frac{9,0 \text{ V} - 8,0 \text{ V}}{0,50 \text{ A}}$$

$$R_S = \underline{\underline{2,0 \Omega}}$$

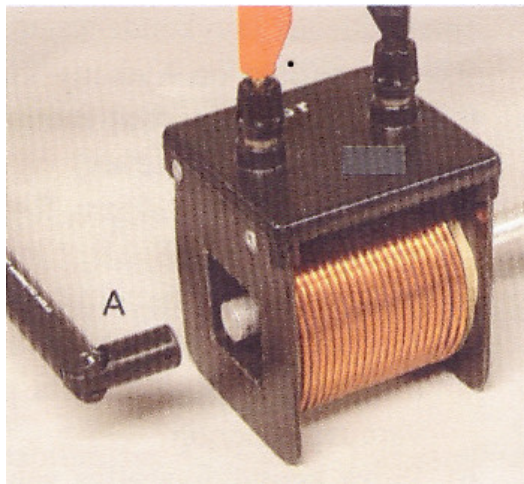
1p
(6p)

c) Piirin virta on b-kohdan perusteella

$$I = \underline{\underline{0,50 \text{ A}}}$$

Pisteytyshuomio: Kohdan c kahteen pisteeseen oikeuttavat laskut tehtiin jo kohdassa b.

8. Tyhjässä käämissä kulkee tasavirta. Magneettivuon tiheys mitataan käämin päältä läheltä anturilla A.
- Käämin sisälle laitetaan rautatanko. Magneettivuon tiheys mitataan samasta kohdasta. Millä tavoin mittaustulos eroaa tyhjän käämin tuloksesta? Perustele. (3 p.)
 - Käämin sisälle vaihdetaan alumiinitanko. Magneettivuon tiheys mitataan samasta kohdasta. Millä tavoin mittaustulos eroaa tyhjän käämin ja a-kohdan tuloksista? Perustele. (2 p.)
 - Miten a-kohdan tulos muuttuisi, jos rautatanko olisi $850\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa? (1 p.)



Ratkaisu.

- a) Kun käämin sisälle laitetaan rautatanko, mitattu magneettikenttä vahvistuu merkittävästi. _____ 1p

Rauta on ferromagneettinen aine, jonka suhteellinen permeabiliteetti on puhtaudesta ja olosuhteista riippuen monisatakertainen tai jopa monituhatkertainen verrattuna ilmaan. Ilman suhteellinen permeabiliteetti on hyvällä tarkkuudella 1, eli sama kuin tyhjiössä. _____ 1p (2p)

Permeabiliteetti kuvaa sitä, kuinka paljon ferromagneettinen aine magneetoituu ulkoisen kentän vaikutuksesta, eli toisin sanoen kuinka paljon se vahvistaa ulkoista kenttää. _____ 1p (3p)

- b) Alumiini ei ole ferromagneettinen aine, mutta se on paramagneettinen ja vahvistaa siten hieman ulkoista magneettikenttää. Sen magneettinen susceptiivisuus κ on $2,08 \cdot 10^{-5}$ (taulukkokirjasta), joten sen suhteellinen per-

mabiliteetti $\mu_r = 1 + \kappa = 1,0000208$ (taulukkokirjan kaava), eli likimain sama kuin tyhjiöllä. _____

1p
(4p)

Myös ilma on paramagneettista ainetta johtuen siinä olevasta hapesta, tosin ilman permeabiliteetti on vielä lähempänä arvoa 1 kuin alumiinilla. Alumiinilla saadaan siis periaatteessa suurempi magneettikenttä kuin ilmalla, mutta ero ilmaan nähden on niin pieni, että mittaustarkkuuden vuoksi saadaan luultavasti sama mittaustulos. A-kohdan tapaukseen verrattuna mittaustulos on huomattavasti pienempi (a-kohdassa saatu tulos on satoja tai tuhansia kertoja suurempi kuin alumiinitangolla tai ilmalla).

1p
(5p)

c) Raudan Curie-lämpötila on 770°C (taulukkokirjasta), joten 850°C lämpötilassa rauta ei ole enää ferromagneettista, vaan muuttuu paramagneettiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että raudan rakenneosasten magneettisten momenttien suunnat sekoittuvat ja raudan magnetoituma katoaa lähes täysin. Näin ollen 850°C lämpötilassa mitattu magneettikenttä on likimain samansuuruinen kuin siinä tapauksessa, että käämin sisällä olisi vain ilmaa. _____

1p
(6p)

9. a) Selitä radiohiiliajoituksen (C-14-menetelmä) periaate.
- b) Janakkalassa sijaisevasta muinaisesta ruumishaudasta löytyi vuonna 2013 vainajan lisäksi kaksi miekkaa. Toinen miekka ajoitettiin viikinkiajalle vuosille 950–1050, ja toinen miekka oli ristiretkiaikainen vuosilta 1050–1200. Haudan ikä määritettiin radiohiiliajoituksella. Vainajan olkavarresta otetun luunäytteen ^{14}C - ja ^{12}C -ytimien lukumääräsuhde (isotooppisuhde) oli $1,12 \cdot 10^{-12}$. Miltä vuosisadalta hauta oli peräisin, kun tiedetään, että vastaava isotooppisuhde elävässä kudoksessa on $1,22 \cdot 10^{-12}$? Olisiko tapahtunut virhe, jos hauta ja vainaja olisi ajoitettu pelkästään esinelöytöjen perusteella?

Ratkaisu.

- a) Hiili-14-isotooppi syntyy kosmisen säteilyn osuessa ilman typpi-14-isotooppiin. Radiohiiliajoitus perustuu oletukseen, että kosmisen säteilyn ja typen määrä ovat pysyneet vakioina ja näin ollen eri aikakausina ilmassa on ollut vakiomäärä C-14-isotooppia. Ilmasta C-14 on kertynyt kasveihin ja edelleen eläimiin, joissa sitä on ollut eliöiden elinaikana samassa suhteessa C-12-isotooppiin nähden kuin ilmakehässäkin. _____

1p

Kun eliö kuolee, sen hiiliaineenvaihdunta lakkaa ja C-14-isotoopin osuus kääntyy laskuun, koska C-14 on radioaktiivinen ja hajoaa hitaasti ajan kuluessa. _____

1p
(2p)

Näytteen ikä voidaan laskea näytteen C-14-isotoopin ja C-12-isotoopin määrien suhteen perusteella tai näytteen C-14-aktiivisuuden perusteella. _____

1p
(3p)

Lisäselitys: Kosmisen säteilyn määrä ei tosiasiallisesti ole pysynyt vakiona eri aikakausina ja sen vuoksi radiohiilimenetelmään on laadittu korjaustaulukoita, joiden avulla saadaan tarkempi arvio näytteen iästä.

- b) Merkitään

N_{12} on ^{12}C :n määrä näytteessä,

N_{14a} on ^{14}C :n määrä näytteessä kuolinhetkellä,

N_{14l} on ^{14}C :n määrä näytteessä mittaushetkellä.

Hajoamislaista saadaan

$$N_{14\ell} = N_{14a}e^{-\lambda t} \quad \left\| \cdot \frac{e^{\lambda t}}{N_{14\ell}} \right. \quad \text{Hajoamislaista:} \quad \text{0.5p (3.5p)}$$

$$e^{\lambda t} = \frac{N_{14a}}{N_{14\ell}} \quad \left\| \ln(\cdot) \right.$$

$$\lambda t = \ln\left(\frac{N_{14a}}{N_{14\ell}}\right) \quad \left\| : \lambda \right.$$

$$t = \ln\left(\frac{N_{14a}}{N_{14\ell}}\right) \cdot \frac{1}{\lambda} \quad \left\| \text{Sijoitetaan } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \right.$$

$$t = \ln\left(\frac{N_{14a}}{N_{14\ell}}\right) \cdot \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \quad \text{(1)} \quad \text{0.5p (4p)}$$

Toisaalta

$$\frac{N_{14a}/\cancel{N_{12}}}{N_{14\ell}/\cancel{N_{12}}} = \frac{1,22 \cdot 10^{-12}}{1,12 \cdot 10^{-12}}$$

$$\frac{N_{14a}}{N_{14\ell}} = \frac{1,22}{1,12} \quad \text{(2)} \quad \text{0.5p (4.5p)}$$

Sijoitetaan (2) ja $T_{1/2} = 5730$ a yhtälöön (1).

$$t = \ln\left(\frac{1,22}{1,12}\right) \cdot \frac{5730 \text{ a}}{\ln 2}$$

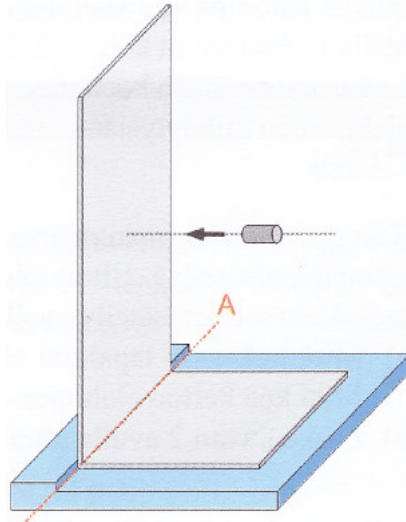
$$t = 706,98 \dots \text{ a} \quad \text{0.5p (5p)}$$

Kuolinvuosi on $2013 - 706,98 \dots = 1306,01 \dots \approx 1310$. 0.5p (5.5p)

Vastaus: Hauta on peräisin 1300-luvulta. Vainajan mukana haudatut esineet ovat annettujen tietojen perusteella yli sata vuotta vanhempia kuin vainaja, joten esineiden iän perusteella olisi tehty todellista vanhempi ikäarvio haudalle. 0.5p (6p)

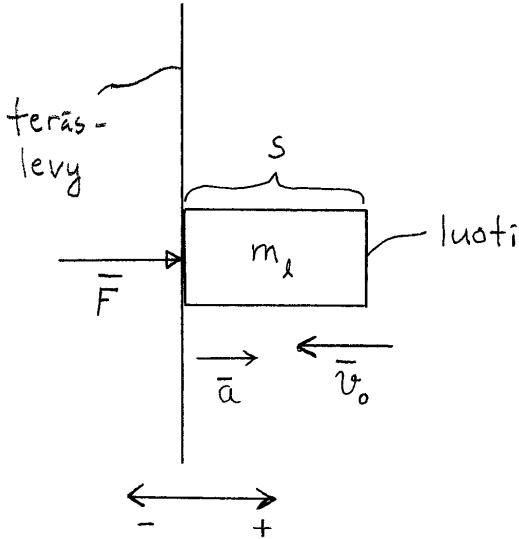
10. Suorakulmainen, L-kirjaimen muotoinen kappale on valmistettu ohuesta, luja-teräslevystä. Kappale on kuvan mukaisesti vaakasuoralla alustalla. Alustassa on matala koroke, joka estää kappaletta liukumasta. Kappaleen massa on 5,5 kg, pystysuoran osan korkeus on 62 cm ja vaakasuoran osan pituus on 31 cm. Levyn hitausmomentti akselin A suhteen on $0,529 \text{ kgm}^2$. Sylinterin muotoinen luoti (massa 10,2 g, pituus 16,7 mm ja nopeus 235 m/s) osuu kuvan esittämällä tavalla kappaleen pystyosan keskipisteeseen. Törmäys on kimmoton. Luoti hidastuu tasaisesti ja litistyy ohueksi kiekoksi, joka ei tartu kappaleeseen.

- Oletetaan, että kappaleen mahdollinen liike törmäyksen aikana on hyvin vähäinen. Kuinka suuren voiman luoti kohdistaa kappaleeseen?
- Osoita, että kappale kallistuu osuman vaikutuksesta.



Ratkaisu.

- Kuva luodin törmäyksestä teräslevyyn:



$$s = 0,0167 \text{ m}$$

$$v_0 = 235 \text{ m/s}$$

$$m_l = 0,0102 \text{ kg}$$

Tehtävänannon mukaan teräslevyn voidaan katsoa pysyvän (likimain) paikallaan ja törmäyksen lopuksi luoti on litistynyt ohueksi, jolloin luodin hidastuminen pysähdyksiin tapahtuu likimain matkalla s kuvan mukaisesti. Edelleen, koska hidastuminen on tehtävänannon mukaan tasaista, on keskinopeus

$$v_k = \frac{v_0 + 0}{2} = \frac{v_0}{2}.$$

Hidastumiseen kulunut aika Δt on

$$\Delta t = \frac{s}{v_k} = \frac{2s}{v_0} \quad (1) \quad \boxed{1\text{p}}$$

Hidastumisen aikana teräslevy vaikuttaa luotiin vakiovoimalla F .

Tällöin impulssiperiaatteella

$$F \Delta t = m_\ell \Delta v \quad || : \Delta t$$

$$F = \frac{m_\ell \Delta v}{\Delta t} \quad || \text{ Sijoitetaan (1)}$$

$$F = \frac{m_\ell [0 - (-v_0)]}{2s/v_0}$$

$$F = \frac{m_\ell v_0^2}{2s}$$

$$F = \frac{0,0102 \text{ kg} \cdot (235 \text{ (m/s)})^2}{2 \cdot 0,0167 \text{ m}}$$

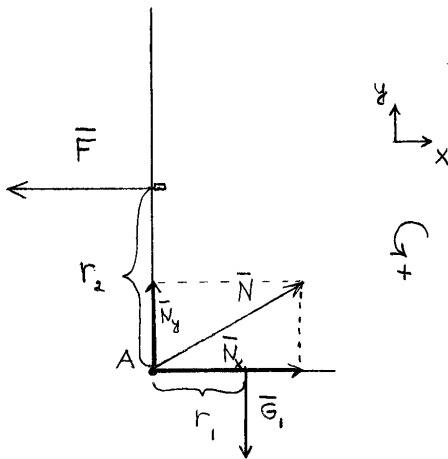
$$F = 16\,865,119 \dots \text{ N}$$

$$F \approx \underline{\underline{16,9 \text{ kN}}}$$

1p
(2p)

1p
(3p)

b) Oheinen kuva esittää L-kappaleeseen vaikuttavia voimia, kun luoti osuu pystyosan keskipisteeseen. Voima \vec{F} on luodin teräslevyyn kohdistama voima ja G_1 L-kappaleen vaakaosan gravitaatiovoima.



$$r_1 = \frac{0,31 \text{ m}}{2} = 0,155 \text{ m}$$

$$r_2 = \frac{0,62 \text{ m}}{2} = 0,31 \text{ m}$$

$$F = 16\,865,119 \dots \text{ N} \quad (\text{a-kohta})$$

$$m_L = 5,5 \text{ kg}$$

1p
(4p)

Oletetaan levy tasapaksuksi ja homogeeniseksi. Tällöin levyn vaakaosan massa m_1 on verrannollinen vaakaosan pituuteen. Kun m_L on koko L-

kappaleen massa, saadaan:

$$\begin{aligned} \frac{m_1}{m_L} &= \frac{\ell_1}{\ell_L} \\ \frac{m_1}{m_L} &= \frac{2r_1}{2r_1 + 2r_2} \quad || \cdot m_L \\ m_1 &= \frac{2r_1}{2r_1 + 2r_2} \cdot m_L \\ m_1 &= \frac{r_1 m_L}{r_1 + r_2} \\ m_1 &= \frac{0,155 \text{ m} \cdot 5,5 \text{ kg}}{0,155 \text{ m} + 0,31 \text{ m}} \\ m_1 &= 1,8333 \dots \text{ kg} \end{aligned}$$

1p
(5p)

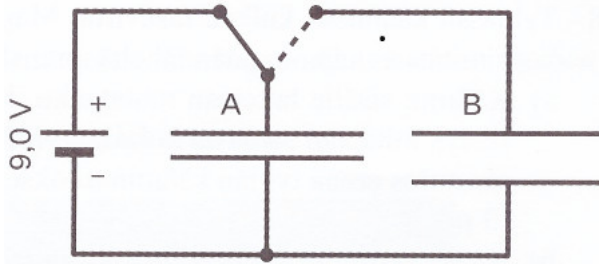
Kappale kallistuu, jos momenttien summa akselin A suhteen on suurempi kuin nolla. Siis

$$\begin{aligned} \sum M_A &= Fr_2 - G_1 r_1 \\ &= Fr_2 - m_1 g r_1 \\ &= 16\,865,119 \dots \text{ N} \cdot 0,31 \text{ m} - 1,8333 \dots \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,155 \text{ m} \\ &= 5\,225,399 \dots \text{ Nm} \\ &> 0 \end{aligned}$$

Siten kappale kallistuu osuman vaikutuksesta.

1p
(6p)

11. Ilmatäytteiset levykondensaattorit A ja B sekä 9,0 V:n paristo on kytketty kuvan mukaisesti. Kondensaattorit ovat muuten samanlaiset, mutta A:n ilma-araon leveys on 1,2 mm ja B:n ilma-araon leveys on 2,4 mm. Kondensaattorin A kapasitanssi on 15 pF. Alkutilanteessa kondensaattorit ovat varaamattomia.
- Vaihtokytkin käännetään vasemmalle, jolloin kondensaattori A kytkeytyy paristoon. Odotetaan, kunnes sähkövirta piirissä lakkaa. Kuinka suuria ovat tällöin kondensaattorin A varaus ja energia?
 - Piirrä kenttäviivaesitys sähkökentästä, joka vallitsee kondensaattorin A levyjen välissä. Kuinka suuri on tämän sähkökentän voimakkuus?
 - Vaihtokytkin käännetään oikealle (katkoviiva), jolloin kondensaattori A ensin kytkeytyy irti paristosta ja sitten kytkeytyy kondensaattoriin B. Odotetaan, kunnes sähkövirta piirissä lakkaa. Kuinka suuri on kondensaattorin A jännite, kondensaattorin B jännite ja kondensaattorien energioiden summa?



Ratkaisu.

$$\begin{aligned}
 U &= 9,0 \text{ V} \\
 d_A &= 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 d_B &= 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 C_A &= 15 \cdot 10^{-12} \text{ F} \\
 Q_{A,\text{alku}} &= Q_{B,\text{alku}} = 0 \text{ C}
 \end{aligned}$$

- a) Kondensaattorilaista saadaan

$$\begin{aligned}
 C_A &= \frac{Q}{U} \\
 Q &= C_A U \\
 Q &= 15 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 9,0 \text{ V} \\
 Q &= 1,35 \cdot 10^{-10} \text{ C} \\
 Q &\approx \underline{\underline{0,14 \text{ nC}}}
 \end{aligned}$$

1p

Energia

$$E = \frac{1}{2} C_A U^2$$

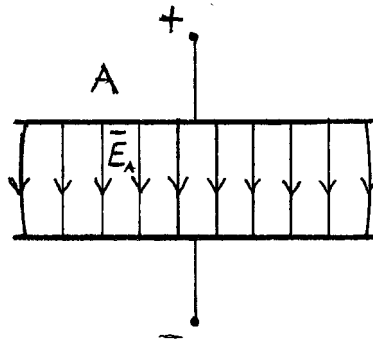
$$E = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot (9,0 \text{ V})^2$$

$$E = 6,075 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$E \approx \underline{\underline{0,61 \text{ nJ}}}$$

1p
(2p)

b)

1p
(3p)

Sähkökenttä levyjen välissä on likimain homogeeninen, joten

$$U = E_A d_A \quad || : d_A$$

$$E_A = \frac{U}{d_A}$$

$$E_A = \frac{9,0 \text{ V}}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$E_A = \underline{\underline{7500 \frac{\text{V}}{\text{m}}}}$$

1p
(4p)c) Selvitetään B:n kapasitanssi C_B . A ja B olivat ilma- ja ilmaraon leveyttä luku-

nottamatta identtiset, joten

$$\frac{C_B}{C_A} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d_B}}{\epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d_A}}$$

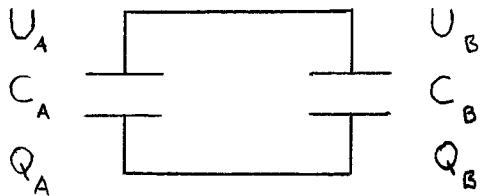
$$\frac{C_B}{C_A} = \frac{d_A}{d_B} \parallel \cdot C_A$$

$$C_B = \frac{d_A C_A}{d_B}$$

$$C_B = \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 15 \cdot 10^{-12} \text{ F}}{2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}$$

$$C_B = 7,5 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

Nyt C_A ja C_B muodostavat virtapiirin:



kondensaattorit A ja B on siis kytketty rinnan, jolloin

$$U_A = U_B. \text{-----} (1) \quad \begin{matrix} 0.5\text{p} \\ (4.5\text{p}) \end{matrix}$$

Ennen vaihtokytkimen kääntämistä C_A :lla oli a-kohdan perusteella varaus $Q = 1,35 \cdot 10^{-10} \text{ C}$ ja C_B oli varaukseton. Kokonaisvaraus säilyy, joten

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{alku}} &= Q_{\text{loppu}} \\
 Q + 0 &= Q_A + Q_B \\
 Q &= C_A U_A + C_B U_B \quad \parallel \text{ sijoitetaan (1)} \\
 Q &= (C_A + C_B) U_A \quad \parallel : (C_A + C_B) \\
 U_A &= \frac{Q}{C_A + C_B} \\
 U_A &= \frac{1,35 \cdot 10^{-10} \text{ C}}{15 \cdot 10^{-12} \text{ F} + 7,5 \cdot 10^{-12} \text{ F}} \\
 \underline{U_A} &= \underline{6,0 \text{ V}} \\
 \underline{U_B} &= \underline{6,0 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

1p
(5.5p)

Energioiden summa

$$\begin{aligned}
 E_A + E_B &= \frac{1}{2} C_A U_A^2 + \frac{1}{2} C_B U_B^2 \\
 &= \frac{1}{2} U_A^2 (C_A + C_B) \\
 &= \frac{1}{2} (6,0 \text{ V})^2 (15 \cdot 10^{-12} \text{ F} + 7,5 \cdot 10^{-12} \text{ F}) \\
 &= 4,05 \cdot 10^{-10} \text{ J} \\
 &\approx \underline{\underline{0,41 \text{ nJ}}}
 \end{aligned}$$

0.5p
(6p)

+12. Tähdet syntyvät kaasusta ja pölystä. Millainen on tähtien elinkaari? Käsittele vastauksessasi erikseen suuren ja pienen tähden elinkaarta. Millainen on Auringon elinkaari?

Ratkaisu.

Gravitaatio kerää pölyä ja kaasua yhteen. Mitä suurempi kasautuma on syntynyt, sitä voimakkaammin se vetää lisää ainetta puoleensa. Kun ainetta on kasaantunut tarpeeksi paljon ja tarpeeksi tiheäksi, gravitaatio aiheuttaa sisimmässä osissa suuren paineen ja lämpötilan nousun. _____

1p

Tässä on kaksi vaihtoehtoa, mitä voi tapahtua:

- Jos aineessa ei ole tarpeeksi vetyä, on mahdollista, ettei vedyn fuusioituminen pääse alkamaan ja tällöin tähti jää kehityksen esivaiheeseen.
- Jos aineessa on riittävästi vetyä, se alkaa fuusioitua ja tähti alkaa säteillä fuusiosta vapautunutta energiaa. Tätä kutsutaan tähden syttymiseksi.

Tähden syttyessä vedyn fuusiosta vapautuva säteily aiheuttaa tähden aineeseen ulospäin työntävän paineen (säteilypaine), joka vastustaa gravitaation aiheuttamaa kokoonpuristumista. Tähti asettuu tasapainotilaan, jossa säteilypaineen ja gravitaation vaikutus on yhtä suuri. Tätä vaihetta kutsutaan pääsarjan tähdeksi. Jos tähti on suuri, vedyn fuusiota tapahtuu kiivaammin ja tähden elinaika on näin ollen lyhyempi kuin pienemmän tähden. Aurinko on keskikokoinen, noin viisi miljardia vuotta vanha pääsarjan tähti, joka on nyt noin elinkaarensa puolivälissä. _____

2p
(3p)

Kun pääsarjan tähti on kuluttanut suuren osan vedystään, vedyn fuusion aiheuttama säteilypaine ei riitä vastustamaan gravitaatiota ja tähden ainetta romahtaa syvemmälle tähden sisään. Tämä johtaa siihen, että suuri määrä vetyä siirtyy nopeasti alueelle, jossa lämpötila on riittävä vedyn fuusioon ja fuusioitumistahti kiihtyy valtavasti. Tästä seuraavan verrattain äkillisen, suuren säteilypaineen nousun ansiosta tähti laajenee punaiseksi jättiläiseksi. _____

1p
(4p)

Kun punaisen jättiläisen säteilypaine heikkenee vedyn määrän vähetessä, se romahtaa kasaan. Tämä voi johtaa tähden massasta riippuen erilaisiin vaihtoehtoihin:

- Jos tähden massa on riittävän pieni, romahduksessa sen uloimmat osat leviävät avaruuteen ja sen sisäosa muodostaa valkoisen kääpiön. **Lisäselitys:** Valkoisessa kääpiössä elektronit, protonit ja neutronit ovat plasmamuodossa. Kun elektronit puristuvat tarpeeksi tiheästi lähekkäin, ne aiheuttavat puristumista vastustavan paineen, jonka ansiosta valkoinen

kääpiö ei luhistu enempää. Valkoisessa kääpiössä ei tapahdu enää fuusio-reaktioita, mutta sen aines on kuumaa ja säteilee. _____

2p
(6p)

- Jos tähden massa on riittävän suuri, sen romahtaessa se räjähtää lämpötilan äkillisen kasvun takia voimakkaana supernovaräjähdyksenä.

Supernovaräjähdyksen seurauksena jäljelle jäänyt aines voi romahtaa niin tiiviiksi, ettei valkoisen kääpiön tapauksessa vaikuttava elektronien aiheuttama paine riitä pitämään tähteä kasassa. Tällöin elektronit ja protonit muodostavat neutroneja ja syntyy neutronitähti, joka on äärimmäisen tiheä, suurelta osin neutroneista koostuva taivaankappale. _____

2p
(8p)

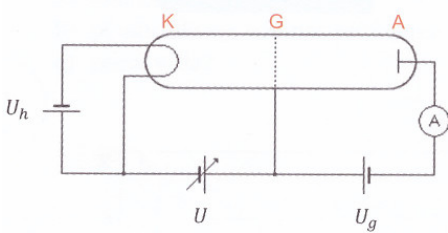
Jos supernovana räjähtävän tähden massa on erittäin suuri, se voi romahtaa mustaksi aukoksi. Musta aukko on vielä neutronitähteäkin tiheämpi taivaankappale, josta edes valo ei pääse karkuun. _____

1p
(9p)

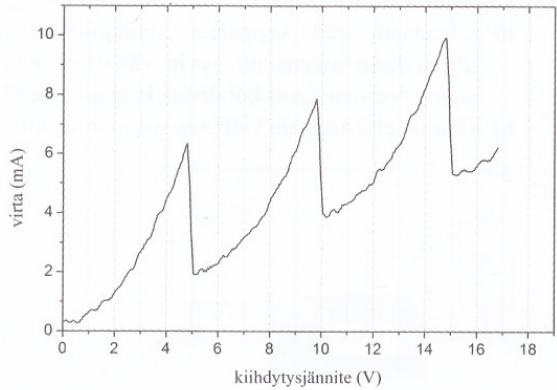
+13. Atomien rakenteen selvittämisen kannalta eräs keskeinen koe on Franckin ja Hertzin koe. Koelaitteena toimii kuvan 1 mukainen elohopeahöyryllä täytetty kaasupurkausputki. Kokeessa putken katodilta K irrotettuja elektroneja kiihdytetään kohti metalliverkkoa G kiihdytysjännitteellä U . Elektronit kulkevat elohopeahöyryn lävitse, jolloin ne törmäävät elohopea-atomeihin. Elektronit kerätään koelaitteen anodille A. Piirin virtamittarilla havaitaan sähkövirta. Kokeessa elektronien kiihdytysjännitettä kasvatetaan asteittain, jolloin sähkövirta muuttuu kuvan 2 mukaisesti.

Kun saavutetaan ensimmäinen sähkövirran huippuarvo, elohopeahöyryn havaitaan lähettävän ultraviolettisäteilyä. Ultraviolettisäteilyllä on tietty aallonpituus. Kiihdytysjännitettä kasvatettaessa ultraviolettisäteilyn aallonpituus pysyy samana.

- a) Mitä kokeessa tapahtuu elohopea-atomeille ja miten mitatun virran vaihtelut selittyvät? Mitä koe kertoo elohopea-atomien rakenteesta? (6 p.)
- b) Laske kuvan 2 avulla ultraviolettisäteilyn aallonpituus. (3 p.)



kuva 1



kuva 2

Ratkaisu.

Huom! Tämän tehtävän ratkaisu on lukijan ymmärtämisen helpottamiseksi kirjoitettu varsin yksityiskohtaisesti ja runsassanaisesti. Täysien pisteiden saamiseen riittäisi reilusti tiiviimpi vastaus, kunhan siitä käyvät ilmi oleelliset kohdat.

a)

Virran kasvu ennen ensimmäistä pudotusta.

Vastajännite U_g aiheuttaa välille G-A saapuviin elektroneihin voiman, jonka suunta on A:sta G:hen päin ja kyseinen voima siis jarruttaa elektroneja

ja pyrkii palauttamaan ne takaisin verkolle G. Jos elektronin liike-energia kohdassa G on pienempi kuin vastajännitteen U_g siihen tekemä jarrutus-työ välillä G-A, elektronin ei ole mahdollista päästä anodille A. Jos taas liike-energia on suurempi kuin em. jarrutustyö, on elektronien mahdollista saavuttaa anodi A.

Nopeuden suunta voi poiketa akselin suunnasta jo verkolle saapuessa tai muuttua elektronin törmätessä elohopea-atomeihin. Mitä suurempi liike-energia on, sitä todennäköisemmin elektroni saavuttaa A:n siitä huolimatta, että sen liikesuunta ei ole putken akselin suuntainen. Näin ollen kiihdytysjännitteen U kasvaessa, virta välillä G-A kasvaa, mikä näkyy myös kuvan 2 kuvaajassa.

Toinen tekijä elektronien nopeuden lisäksi, joka vaikuttaa virran suuruuteen, on katodilta irtoavien elektronien määrä aikayksikössä. Katodilla olevilla elektroneilla on lämpöliikkeestä johtuen erilaisia nopeuksia ja irtoaminen tapahtuu, kun elektroni saa sellaisen nopeuden, että sen liike-energia riittää karkaamiseen pinnan vuorovaikutuksen piiristä. Suuremmalla kiihdytysjännitteellä elektroniin vaikuttaa voimakkaampi kiihdyttävä sähkökenttä, joten useampi elektroni pääsee irtoamaan, sillä sähkökentän ansiosta irtoamiseen tarvittavan, lämpöliikkeestä johtuvan nopeuden ei tarvitse olla niin suuri.

Viimeksi selitetty ilmiö määrää sen, kuinka paljon elektroneja aikayksikössä lähtee pisteestä K pisteeseen G. Elektronien liike-energia taas määrää sen, mikä osuus näistä elektroneista pääsee verkolta G edelleen anodille A. Näiden yhteisvaikutus määrää, kuinka suuri virta pisteeseen A tulee. 1p

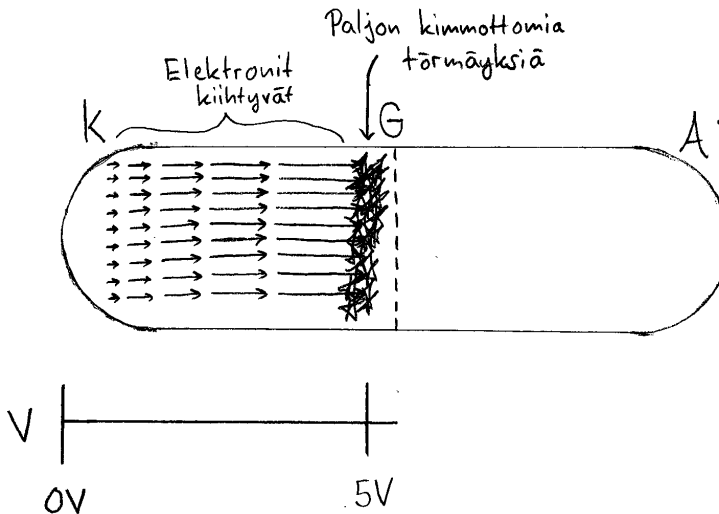
Mitä elohopea-atomeille tapahtuu?

Niin kauan kun elektronien liike-energiat ovat riittävän pieniä, ovat törmäykset elohopea-atomeihin likimain kimmoisia. Elohopea-atomilla on erilaisia viritystiloja, joita vastaavat tietyn suuruiset energiat. Kun elektronin liike-energia saavuttaa matalimman viritystilan energiaa vastaavan arvon, elektroni kykenee virittämään elohopea-atomin. Kun elektroni virittää elohopea-atomin, se luovuttaa osan energiastaan atomille, jolloin törmäys on kimmoton. Viritystilan purkautuessa törmäyksessä menetetty määrä energiaa vapautuu emittoituvana fotonina, eikä siten palaudu elektronien liike-energiaksi. Näin ollen elektronisuihku menettää liike-energiaansa ultraviolettisäteilyn muodossa, kun yksittäisten elektronien liike-energiat saavuttavat elohopea-atomin matalinta viritystilaa vastaavan arvon. 1p
(2p)

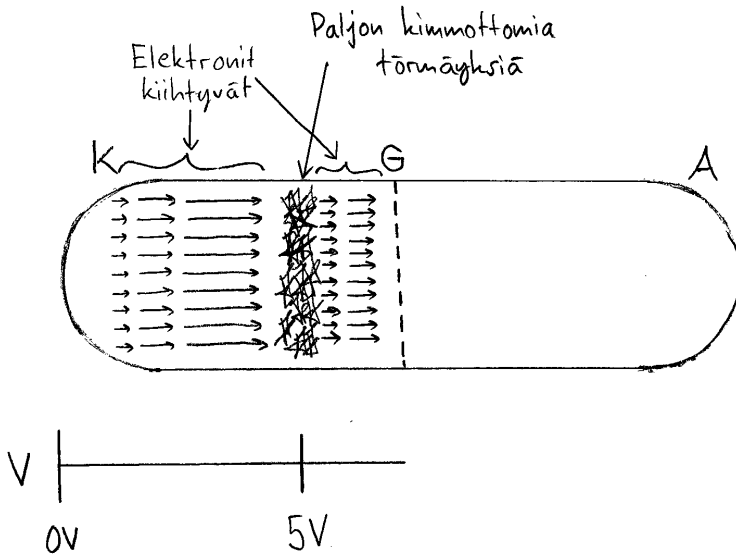
Virran yhtäkkinen putoaminen

Virran kuljettajina toimivat elektronit törmäävät hyvin epätodennäköisesti toisiinsa ja törmäykset tapahtuvat lähinnä elektronien ja elohopea-atomien välillä. Niin kauan kun törmäykset pysyvät kimmottomina, elektronien nopeudet eivät juurikaan muutu niiden törmätessä massaltaan paljon suurempiin atomeihin. Sen vuoksi tietyssä kohtaa välillä K-G olevat elektronit liikkuvat likimain yhtä suurilla nopeuksilla, koska ainoa vauhtia oleellisesti muuttava tekijä on kiihdyttävä sähkökenttä.

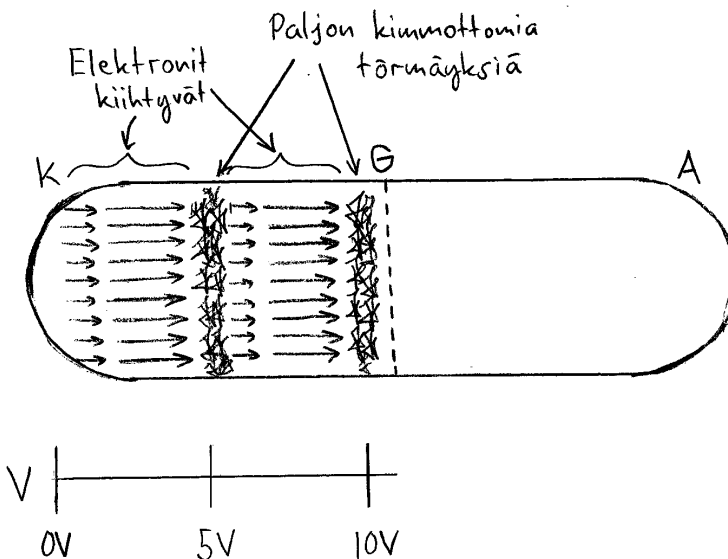
Riittävän suurella kiihdytysjännitteellä elektronien liike-energiat kasvavat jossakin kohtaa välillä K-G yhtä suuriksi kuin elohopea-atomin alimman viritystilan energia. Tästä kohdasta eteenpäin alkaa vyöhyke, jolla tapahtuu suuri määrä kimmottomia törmäyksiä ja elektronien keskimääräinen liike-energia romahtaa niiden virittäessä elohopea-atomeja. Tämä näkyy kuvassa 2 ensimmäisen kerran kohdassa 4,8 V virran romahduksena.



Kiihdytysjännitteen arvolla 4,8 V em. kimmottomien törmäysten vyöhyke on lähellä verkkoa G ja siellä tapahtuu nopeuksien romahdus. Kun kiihdytysjännitettä kasvatetaan, siirtyy vyöhyke kohti katodia K ja elektronit ehtivät siis kerätä romahduksen jälkeen uudestaan nopeutta, kun ne liikkuvat mainitulta vyöhykkeeltä edelleen verkolle G.



Suurempi liike-energia verkolla G näkyy virran kasvuna, joka voidaan havaita kuvassa 2 kohdan 4,8 V jälkeen. Kun kiihdytysjännitettä kasvatetaan edelleen, siirtyy kimmottomien törmäysten vyöhyke välin K-G puoliväliin ja elektronit ehtivät kiihtyä verkolle G tultaessa uudestaan sellaiseen nopeuteen, jolla niiden liike-energia on matalinta viritystilaa vastaavan energian suuruinen. Tällöin verkon G eteen syntyy uusi vyöhyke, jossa tapahtuu kimmottomia törmäyksiä ja elektronien nopeudet romahtavat toisen kerran välillä K-G.



Tämä näkyy kuvassa 2 virran laskuna kohdassa 9,8 V. Vastaava ilmiö toistuu taas kohdassa 14,8 V. Jokainen virran huippu ja pohja on edellistä suurempi, koska kuten aiemmin todettiin, suuremmalla kiihdytysjännitteen arvolla katodilta K matkaan lähtevien elektronien määrä on suurempi.

2p
(4p)

Miksi virtamaksimit ovat toinen toistaan suurempia?

Vertaillaan esimerkiksi kiihdytysjännitteitä, joiden kohdalla saavutetaan ensimmäinen ja toinen virran maksimi. Elektroneilla, jotka saapuvat kohtaan G on molemmissa tapauksissa keskimäärin yhtä suuri liike-energia, joten likimain yhtä suuri osuus niistä pääsee anodille asti. Virta on kuitenkin toisen huipun kohdalla suurempi, sillä katodilta irtoaa enemmän elektroneja, koska kiihdytysjännite ja sähkökentän voimakkuus ovat suuremmat.

1p
(5p)

Mitä koe kertoo?

Koe kertoo elohopeatomin rakenteesta, että sillä on ainakin yksi viritystila. Viritystilan energia on tietyn suuruinen (b-kohdan mukaan 5,0 eV) ja elohopea-atomi ei kykene ottamaan energiaa vastaan tätä pienempinä annoksina. Koe siis tukee väittämää, että elohopea-atomin energiatilat ovat kvantittuneet.

1p
(6p)

- b) Kuvassa 2 nähdään kolme virran maksimia. Merkitään n :llä huipun järjestysnumeroa ja U :lla virtahuippua vastaavaa kiihdytysjännitteen arvoa. Kuvasta voidaan lukea mittaustulokset:

n	U
1	4,8 V
2	9,8 V
3	14,8 V

Mittaustulokset voitaisiin esittää (n, U) -kuvaajana. Kuvaajan tarkastelu on kuitenkin epätarkoituksenmukaista, kun havaintopisteitä on vain kolme ja ne ovat samalla suoralla. Mittaustuloksista saadaan suoran kulmakertoimen

$$U_v = \frac{\Delta U}{\Delta n} = \frac{9,8 \text{ V} - 4,8 \text{ V}}{2 - 1} = \frac{14,8 \text{ V} - 9,8 \text{ V}}{3 - 2} = 5,0 \text{ V}$$

Kulmakertoimesta saatava jännite U_v kertoo, kuinka suuri kiihdytysjännite tarvitaan, jotta elektronit saavat levosta lähtiessään saman suuruisen

liike-energian kuin elohopea-atomien alimman viritystilän energia. Alinta viritystilaa vastaava energia on siis $E_{\min} = eU_v$. Viritystilän purkautuessa vapautuvan fotonin energia on yhtä suuri kuin viritystilän energia.

2p
(8p)

Planckin lain mukaan:

$$E_{\min} = hf \quad || \text{ Sijoitetaan } f = c/\lambda \text{ ja } E_{\min} = eU_v$$

$$eU_v = hc/\lambda \quad || \cdot \frac{\lambda}{eU_v}$$

$$\lambda = \frac{hc}{eU_v}$$

$$\lambda = \frac{4,1357 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{e \cdot 5,0 \text{ V}}$$

$$\lambda = 247,97 \dots \text{ nm}$$

$$\approx 250 \text{ nm}$$

1p
(9p)

Vastaus: UV-säteilyn aallonpituus on 250 nm.