



FYSIIKAN KOE 14.9.2015 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

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

Fysiikka pyrkii ymmärtämään luonnon perusrakennetta, luonnonilmiöiden perusmekanismeja ja niiden säännönmukaisuuksia. Fysiikassa käsitteellinen tieto ja tietorakenteet pyritään ilmaisemaan mahdollisimman kattavina ja yleisinä. Kokeellinen menetelmä on fysiikan tiedon perusta, ja saavutettu tieto esitetään usein matemaattisina teoriarakenteina ja malleina. Malleilla on keskeinen asema myös kehitettäessä, sovellettaessa ja käytettäessä näin saavutettua tietoa. Fysiikan tiedonhankinnalle, tiedon esittämiselle ja sen soveltamiselle on tyypillistä teorian ja kokeellisuuden nivoutuminen toisiinsa.

Fysiikan kokeessa arvioinnin kohteita ovat sekä fysikaalisen tiedon ymmärtäminen että tiedon soveltamisen taito lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisesti. Kokeessa arvioidaan myös kokelaan kokeellisen tiedonhankinnan ja -käsittelyn taitoja. Näitä ovat mm. koeksuunnittelu, yleisimpien mittavälineiden käytön hallinta, tulosten esittäminen ja tulkitseminen sekä johtopäätösten tekeminen. Luonnontieteiden ja teknologian alaan liittyviä ongelmia ratkaistaan käyttäen ja soveltaen fysiikan käsitteitä ja käsiterakenteita. Luovuutta ja kekseliäisyyttä osoittavat ratkaisut katsotaan erityisen ansiokkaiksi. Arviointiin vaikuttavat myös kokelaan vastausten selkeys, asiasisällön johdonmukaisuus ja jäsentyneisyys.

Fysiikan tehtävän vastaus sisältää vastauksen perustelut, ellei tehtävänannossa ole toisin mainittu. Kokelas osaa yhdistellä tietoa ja soveltaa oppimaansa. Vastaus osoittaa, että kokelas on tunnistanut oikein fysikaalisen ilmiön ja tarkastelee tilannetta fysikaalisesti mielekkäällä tavalla. Kokelas osaa kuvata sovellettavan fysikaalisen mallin ja perustella, miksi mallia voidaan käyttää kyseisessä tehtävässä. Usein vastauksessa tarvitaan tilannekuvioita, voimakuvioita, kytkentäkaavioita tai graafista esitystä. Kuviot, kaaviot ja graafiset esitykset ovat selkeitä ja oppiaineen yleisten periaatteiden mukaisia. Voimakuviossa todelliset voimat erotetaan vektorikomponenteista selkeästi.

Matemaattista käsittelyä edellyttävissä tehtävissä suureyhtälöt ja kaavat on perusteltu tavalla, joka osoittaa kokelaan hahmottaneen tilanteen, esimerkiksi lähtien jostain fysiikan peruslaista tai -periaatteesta. Vastauksessa on esitetty tarvittavat laskut sekä muut riittävät perustelut ja lopputulos. Laskemista edellyttävissä osioissa suureyhtälö on ratkaistu kysytyn suureen suhteen, ja tähän suureyhtälöön on sijoitettu lukuarvot yksikköineen. Fysiikan kokeessa kaikki funktio-, graafiset ja symboliset laskimet ovat sallittuja. Symbolisen laskimen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan ratkaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu. Laskimen avulla voidaan ratkaista yhtälöitä ja tehdä päätelmiä kuvaajista tehtävänannon edellyttämällä tavalla.

Tehtävän eri osat arvostellaan 1/3 pisteen tarkkuudella, ja loppusumma pyöristetään kokonaisiksi pisteiksi.

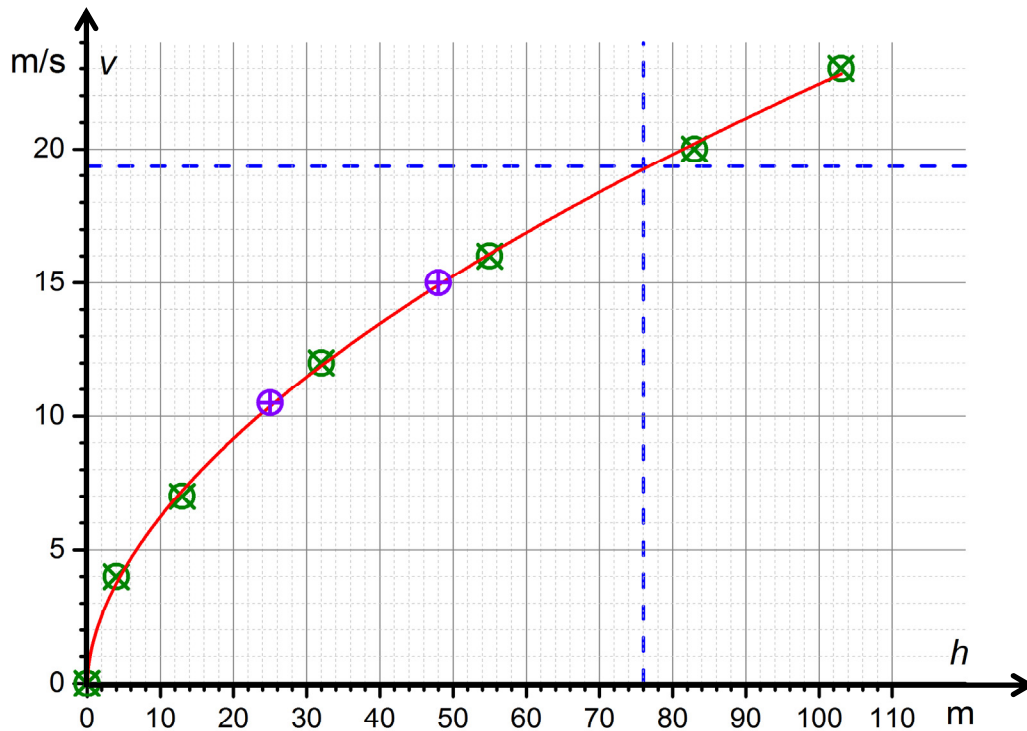
Tehtävä 1

	Kappaleen liike-energia	Kappaleen potentiaali-energia	Kemiallinen energia	Säteily-energia
A	+	-	0	0
B	0	0	-	+
C	+	+	-	+

Arviointi: Jokaisesta oikeasta merkinnästä ruudussa +½ p. Tyhjä ruutu tulkitaan vääräksi merkinnäksi.

Tehtävä 2

a)



3 p.

b) Kun raketin lentokorkeus on 76 m, sen nopeus on 19 m/s.

1 p.

c) Luetaan kuvaajasta raketin hetkelliset nopeudet, kun raketti on korkeudella 25 m ja 48 m.

$$v_1 = 10,5 \text{ m/s} \quad v_2 = 15,0 \text{ m/s} \quad t_1 = 4,0 \text{ s} \quad t_2 = 6,0 \text{ s}$$

1 p.

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(15,0 - 10,5) \text{ m/s}}{(6,0 - 4,0) \text{ s}} = 2,25 \text{ m/s}^2 \approx 2,3 \text{ m/s}^2$$

1 p.

Tehtävä 3

veden kokonaismassa: $m_1 = 6,0 \text{ kg}$

lämmitettävän veden massa: $m_2 = 1,2 \text{ kg}$

veden ominaislämpökapasiteetti: $c = 4190 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ (pysyy vakiona)

veden alkulämpötila: $T_1 = 19 \text{ }^\circ\text{C}$

veden loppulämpötila: $T_2 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$

lämmitysaika: $t = 230 \text{ s}$

vedenkeittimen kokonaisteho: $P_{kok.} = 2,0 \text{ kW}$

a) Teho, joka veden lämmittämiseen tarvitaan:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{cm_2(T_2 - T_1)}{t} \quad 1 \text{ p.}$$

Vedenkeittimen hyötysuhde:

$$\eta = \frac{P}{P_{kok.}} = \frac{cm_2(T_2 - T_1)}{P_{kok.}t} \quad 1 \text{ p.}$$

$$\eta = \frac{4190 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \text{ kg} \cdot (95 \text{ }^\circ\text{C} - 19 \text{ }^\circ\text{C})}{2000 \text{ W} \cdot 230 \text{ s}} = 0,83071304 \approx 83 \% \quad 1 \text{ p.}$$

Vedenkeittimen hyötysuhde on 83 %.

b) Lämmin vesi luovuttaa lämpö määrän Q_1 ja kylmä vesi vastaanottaa lämpö määrän Q_2 .

Kylmä vesi vastaanottaa yhtä paljon lämpöä kuin kuuma vesi luovuttaa.

1 p.

Merkitään yhteistä loppulämpötilaa T_x : llä.

$$Q_1 + Q_2 = 0$$
$$c(m_1 - m_2)(T_x - T_1) + cm_2(T_x - T_2) = 0 \quad 1 \text{ p.}$$

Ratkaistaan yhtälö loppulämpötilan suhteen ja sijoitetaan annetut lukuarvot:

$$T_x = \frac{(m_1 - m_2)T_1 + m_2T_2}{m_1}$$
$$T_x = \frac{(6,0 \text{ kg} - 1,2 \text{ kg}) \cdot 19 \text{ }^\circ\text{C} + 1,2 \text{ kg} \cdot 95 \text{ }^\circ\text{C}}{6,0 \text{ kg}} = 34,2 \text{ }^\circ\text{C} \approx 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tiskiveden loppulämpötila sangossa on 34 °C.

1 p.

Tehtävä 4

- a) Valkoinen valo sisältää kaikkia silmän havaitsemia spektrin värejä pitkäaaltoisesta punaisesta lyhytaaltoiseen violettiin. 1 p.

Valo taittuu eli muuttaa suuntaansa ilman ja lasin rajapinnassa sekä mennessään prisman sisään että tullessaan sieltä ulos. 1 p.

Taittumiskulma riippuu valon väristä, eli taitekerroin riippuu valon aallonpituudesta. Mitä lyhyempi aallonpituus on, sitä voimakkaammin valo taittuu. Tästä syystä prisman läpi kulkeva valkoinen valo hajoaa väreihin. 1 p.

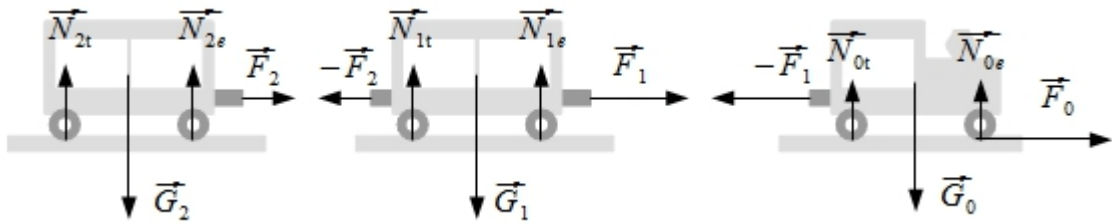
- b) Luonnonvalo sisältää kaikkia silmän havaitsemia aallonpituuksia. Lätäköön pintaan lankeava valo heijastuu sekä ilman ja öljyn rajapinnasta että öljyn ja veden rajapinnasta. Eri pinnoilta heijastuneet valoallot interferoivat keskenään. 1 p.

Valoaaltojen välille syntyy vaihe-ero, joka riippuu aaltojen matkaerosta eli öljykerroksen paksuudesta ja valon aallonpituudesta. 1 p.

Samassa vaiheessa kohtaavat aallot vahvistavat toisiaan, ja toisilleen vastakkaisissa vaiheissa kohtaavat aallot heikentävät toisiaan. Tämän seurauksena tietyt värit voimistuvat ja toiset heikkenevät. Kun öljyläikkää katsotaan ylhäältä päin, nähdään erivärisiä alueita, koska öljykalvon paksuus vaihtelee eri kohdissa. 1 p.

Tehtävä 5

a) Kustakin voimakuvioista voi saada enintään 1 p.



Jos veturissa molemmat akselit vetävät, niin vektori \vec{F}_0 pitää jakaa kahteen osaan, joiden yhteispituus vastaa kuvaan piirretyn vektorin pituutta.

b) Newtonin II laki

$\frac{2}{3}$ p.

$$\sum F_{xi} = m_i a$$

$$\begin{cases} F_0 - F_1 = m_0 a \\ F_1 - F_2 = m_1 a \\ F_2 = m_2 a \end{cases}$$

1 p.

Ratkaistaan yhtälöryhmästä tuntemattomat voimat

$$\begin{cases} F_1 = (m_1 + m_2) a = (750 \text{ kg} + 750 \text{ kg}) \cdot 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 480 \text{ N} & \frac{2}{3} \text{ p.} \\ F_2 = m_2 a = 750 \text{ kg} \cdot 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 240 \text{ N} & \frac{2}{3} \text{ p.} \end{cases}$$

Vaunuun eteenpäin vaikuttava voima on 480 N ja taaksepäin vaikuttava voima 240 N.

Tehtävä 6

Köyden pituus: $l = 2,5 \text{ m}$

Kulma-asema ääriasemassa: $\varphi = 45^\circ$

Kulma-asema tasapainoasemassa: $\varphi_0 = 0^\circ$

a) Ääriasemassa keinu pysähtyy, joten lapsen nopeus $v = 0$. $\frac{1}{3}$ p.

Newtonin II:n lain mukaan $\frac{1}{3}$ p.

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

$$\vec{T} + \vec{G} = m \vec{a}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} T - G_y = ma_N = m \frac{v^2}{l} \\ G_x = mg \sin \varphi = ma_T \end{cases} \quad \frac{2}{3} \text{ p.}$$

Koska nopeus on nolla, niin normaalikiikkyvyys

$$a_N = \frac{v^2}{l} = 0 \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

Tangenttikiikkyvyys

$$a_T = g \sin \varphi = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 45^\circ = 6,936718 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

$$\text{Lapsen kiihtyvyys } a = \sqrt{a_N^2 + a_T^2} = a_T \approx 6,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

b) Keinujan mekaaninen energia säilyy, $\frac{1}{3}$ p.

joten lapsella on ääriasemassa vain potentiaalienergiaa ja tasapainoasemassa vain liike-energiaa.

$$mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad \frac{2}{3} \text{ p.}$$

Ääriasema on korkeudella

$$h = l(1 - \cos \varphi).$$

Lapsella on tasapainoasemassa nopeus

$$v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos \varphi)} = 3,79030 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad 1 \text{ p.}$$

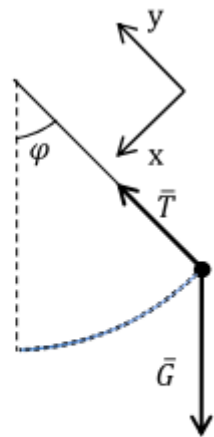
Normaalikiikkyvyys

$$a_{N0} = \frac{v_0^2}{l} = \frac{2gl \cos \varphi}{l} = 2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1 - \cos 45^\circ) = 5,74656 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

Tangenttikiikkyvyys

$$a_{T0} = g \sin \varphi_0 = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 0^\circ = 0 \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

$$\text{Lapsen kiihtyvyys } a_0 = \sqrt{a_{N0}^2 + a_{T0}^2} = a_{N0} \approx 5,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$



Tehtävä 7

a) Piirin potentiaalin kuvaajasta nähdään, että lähdejännite on 9,0 V. Jännitelähteen sisäinen resistanssi laskee potentiaalia 1,0 V, jolloin jännitelähteen napajännite on 8,0 V. 2 p.

b) Verrataan sisäisen resistanssin aiheuttamaa potentiaalin muutosta muiden vastusten aiheuttamiin potentiaalin muutoksiin. Huomataan, että sisäinen resistanssi aiheuttaa yhtä suuren potentiaalin muutoksen (-1,0 V) kuin R_1 . 1 p.

Koska kaikkien vastusten läpi kulkee sama virta I , on jännitelähteen sisäisen resistanssin oltava sama kuin R_1 eli 2,0 Ω . 1 p.

c) Lasketaan piirissä kulkeva virta Kirchhoffin II lain avulla:

$$E - R_s I - R_1 I - R_2 I = 0$$
$$I = \frac{E}{R_s + R_1 + R_2} = \frac{9,0 \text{ V}}{2,0 \Omega + 2,0 \Omega + 14 \Omega} = 0,50 \text{ A}$$

2 p.

Tehtävä 8

- a) Rauta on ferromagneettista ainetta. Rautatanko käämin sisällä vahvistaa huomattavasti magneettikenttää. Mitattu magneettivuon tiheys on siis huomattavasti suurempi kuin tyhjän käämin vastaava. 1 p.

Ferromagneettisissa aineissa, kuten raudassa, on valmiiksi magnetoituneita alkeisalueita. 1 p.

Alkeisalueiden magneettisuus on peräisin läheisten atomien vuorovaikutuksesta. Kun ulkoista magneettikenttää ei ole, alkeisalueiden magnetoitumissuunnat osoittavat satunnaisesti suuntiin eikä koko kappale tuota ulkopuolelleen magneettikenttää.

Kun ferromagneettinen aine asetetaan ulkoiseen magneettikenttään, alkaa magneettikenttä kääntää alkeisalueita ulkoisen kentän suuntaisiksi. Nämä vahvistavat ulkoista kenttää huomattavasti. 1 p.

- b) Alumiini on paramagneettista ainetta, joten se vahvistaa magneettikenttää vain vähän. Mitattu vuontiheys on siis vain vähän tyhjän käämin vastaavaa suurempi ja huomattavasti a-kohdassa mitattua pienempi. 1 p.

Paramagneettisissa aineissa, kuten alumiinissa, magneettikentän suuntaisiksi kääntyvät vain joidenkin elektronien magneettiset momentit. Tämä on paljon ferromagnetismia heikompi ilmiö, joten ulkoinen kenttäkin vahvistuu vähemmän. 1 p.

- c) Ferromagneettiset aineet muuttuvat paramagneettisiksi, kun niiden lämpötila ylittää tietyn rajalämpötilan, ns. Curie-lämpötilan. Raudan Curie-lämpötila on 770°C, joten 850 °C:n lämpötilassa rauta on paramagneettista ja magneettikenttä vahvistuu vain vähän. 1 p.

Tehtävä 9

- a) Historiallisten ja esihistoriallisten näytteiden ikä voidaan määrittää radioaktiivisen ^{14}C -isotoopin avulla.

Yläilmakehässä osa hiilidioksidista CO_2 muuttuu kosmisen säteilyn vaikutuksesta radioaktiiviseksi. Hiilidioksidia kulkeutuu ilmasta kasveihin, ihmisiin ja eläimiin, jolloin radioaktiivisen hiilen pitoisuus elävissä organismeissa on verrannollinen sen pitoisuuteen ilmassa. 1 p.

Organismin kuollessa sen hiilidioksidin saanti loppuu ja ^{14}C -isotoopin pitoisuus alkaa vähetä beetahajoamisen vuoksi. Väheneminen on kuitenkin suhteellisen hidasta, sillä radioaktiivisen hiilen puoliintumisaika on 5 730 vuotta. 1 p.

Näytteen ikä voidaan määrittää kahdella tavalla: Mittaamalla näytteen aktiivisuus ja vertaamalla sitä elävän organismin aktiivisuuteen tai määrittämällä ^{14}C - ja ^{12}C -isotoppien lukumäärien suhde näytteessä ja vertaamalla sitä vastaavaan suhteeseen elävissä organismeissa. 1 p.

- b) Radioaktiivisen hiilen ^{14}C -ytimien lukumäärä vähenee näytteessä eksponentiaalisesti. Sen sijaan hiilen ^{12}C -ytimien lukumäärä ei muutu kuoleman jälkeen. Merkitään ^{14}C -ytimien lukumäärää näytteessä ajoitusajanhetkellä ja vainajan kuollessa seuraavasti:

$$N = 1,12 \cdot 10^{-12} \cdot N(^{12}\text{C})$$

$$N_0 = 1,22 \cdot 10^{-12} \cdot N(^{12}\text{C})$$

$$^{14}\text{C}\text{-isotoopin puoliintumisaika: } T_{1/2} = 5730 \text{ a} \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

$$\text{Hajoamisvakio: } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

$$\text{Hajoamislaki: } N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \frac{1}{3} \text{ p.}$$

Ratkaistaan hajoamislaista näytteen vanhenemisaika ja sijoitetaan siihen annetut lukuarvot. Huomataan, että $N(^{12}\text{C})$ supistuu pois.

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \left(\frac{N_0}{N} \right)$$
$$t = \frac{5730 \text{ a}}{\ln 2} \ln \left(\frac{1,22 \cdot 10^{-12}}{1,12 \cdot 10^{-12}} \right) = 706,981 \text{ a}$$

1 p.

Koska haudan iänmääritys tehtiin vuonna 2013, hauta on noin 1300-luvulta.

Pelkkien esinelöytöjen perusteella hauta ja vainaja ajoitettaisiin liian vanhoiksi.

1 p.

Tehtävä 10

$$\begin{aligned} m &= 5,5 \text{ kg} & l_1 &= 0,62 \text{ m} \\ m_L &= 0,0102 \text{ kg} & l_2 &= 0,31 \text{ m} \\ v &= 235 \text{ m/s} & r_1 &= 0,31 \text{ m} \\ l_L &= 0,0167 \text{ m} & r_2 &= 0,155 \text{ m} \end{aligned}$$

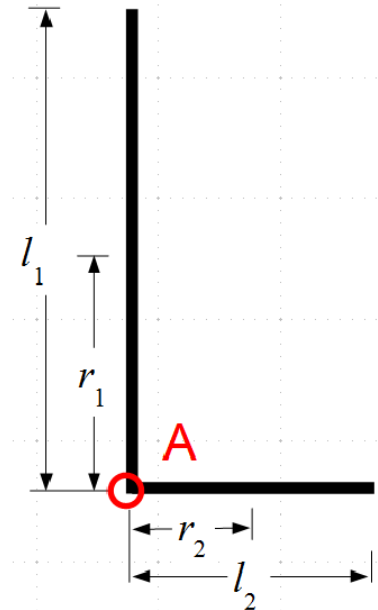
a) Sovelletaan impulssiperiaatetta luodin osuessa kappaleeseen:

$$F \cdot t = \Delta p = m_L v$$

Luodin nopeus hidastuu tasaisesti nolleen luodin pituuden matkalla:

$$l_L = \frac{1}{2} vt \quad t = \frac{2l_L}{v}$$

$$F = \frac{m_L v}{t} = m_L v \cdot \frac{v}{2l_L} = \frac{m_L v^2}{2l_L} = \frac{0,0102 \text{ kg} \cdot \left(235 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0,0167 \text{ m}} = 16865,12 \text{ N} \approx 16900 \text{ N}$$



b) Olkoon pisteen A kautta kulkevan akselin suhteen osuman voiman momentti M_1 ja levyn alaosan painon momentti M_2 .

$$M_1 = r_1 F = 0,31 \text{ m} \cdot 16865,12 \text{ N} = 5228,187 \text{ Nm} \approx 5200 \text{ Nm}$$

$$M_2 = -r_2 \cdot \frac{1}{3} mg = -2,79 \text{ Nm} \approx -2,8 \text{ Nm}$$

Levy kallistuu, jos $M_1 + M_2 > 0$

Koska $M_1 + M_2 \approx 5200 \text{ Nm}$, levy kallistuu.

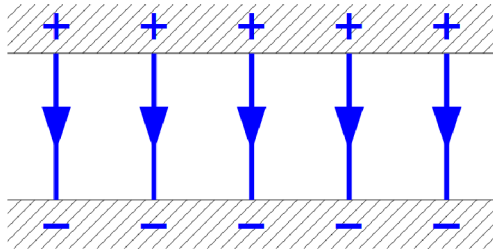
Tehtävä 11

a) Kun virta lakkaa kulkemasta, kondensaattori A on varautunut 9,0 V:n jännitteeseen.

$$\text{Varaus: } Q_0 = C_A U_0 = 15 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 9,0 \text{ V} = 1,35 \cdot 10^{-10} \text{ C} \approx 140 \text{ pC} \quad 1 \text{ p.}$$

$$\text{Energia: } W_A = \frac{1}{2} C_A U_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot (9,0 \text{ V})^2 = 6,075 \cdot 10^{-10} \text{ J} \approx 610 \text{ pJ} \quad 1 \text{ p.}$$

b)



1 p.

$$\text{Sähkökentän voimakkuus: } E_A = \frac{U_0}{d} = \frac{9,0 \text{ V}}{0,0012 \text{ m}} = 7500 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad 1 \text{ p.}$$

c) Levykondensaattorin kapasitanssi $C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$. Koska kondensaattorin B levyjen välimatka on kaksinkertainen verrattuna kondensaattorin A levyjen välimatkaan ja kondensaattorit ovat muuten samanlaisia, kondensaattorin B kapasitanssi on puolet kondensaattorin A kapasitanssista.

Kun kondensaattorit kytketään kuvan mukaisesti, niillä on sama jännite.

Varaus jakautuu kondensaattoreiden kesken, kokonaisvaraus säilyy.

Kondensaattorikytkennän kokonaiskapasitanssi on kapasitanssien summa. 2/3 p.

$$\begin{aligned} Q_B &= C_B U_B & U_B &= U_A = U_{\text{yht}} \\ Q_A &= C_A U_A & Q_B + Q_A &= Q_0 & C_B &= \frac{1}{2} C_A \end{aligned}$$

$$Q_B + Q_A = (C_B + C_A) U_{\text{yht}}$$

$$U_{\text{yht}} = \frac{Q_B + Q_A}{C_B + C_A} = \frac{Q_0}{\frac{1}{2} C_A + C_A} = \frac{Q_0}{\frac{3}{2} C_A} = \frac{2}{3} \frac{Q_0}{C_A} = \frac{2}{3} U_0$$

$$\text{Kondensaattorien jännitteet: } U_A = U_B = \frac{2}{3} \cdot 9,0 \text{ V} = 6,0 \text{ V} \quad 2/3 \text{ p.}$$

Kondensaattorien energia:

$$W_{AB} = \frac{1}{2} C_A U_A^2 + \frac{1}{2} C_B U_B^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{2} C_A \cdot \left(\frac{2}{3} U_0\right)^2 = \frac{3}{4} \cdot 15 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot (6,0 \text{ V})^2 = 4,05 \cdot 10^{-10} \text{ J} \approx 410 \text{ pJ} \quad 2/3 \text{ p.}$$

($W_{AB} < W_A$, koska osa energiasta muuttuu lämmöksi kytkentäjohtimissa kulkevan virran ja johtimissa tapahtuvan jännitehäviön vaikutuksesta.)

Tehtävä +12

Raskaan ja kevyen tähden elinkaaret eroavat toisistaan. Kaikki tähdet kuitenkin syntyvät samalla tavalla. Tähdien syntymiseen tarvitaan ennen kaikkea riittävästi vetykaasua, joka gravitaation vaikutuksesta kasaantuu massakeskittymäksi. Kun vetykaasu tiivistyy, kaasun lämpötila ja paine kasvavat, ja lopulta vety-ytimet alkavat fuusioitua. Fuusiossa syntyy heliumia ja vapautuu energiaa, eli tähti syttyy. Tähti saavuttaa tasapainon, jossa gravitaatiovoima ja säteilypaineen aiheuttama voima ovat tasapainossa. Tällöin tähden sanotaan olevan pääsarjan tähti. Tähdien kirkkaus ja väri riippuvat tähden pintalämpötilasta.

3 p.

Mitä suurempi tähti on kyseessä, sitä nopeammin se kuluttaa vedyn loppuun. Suuren tähden elinikä on siis lyhyempi kuin pienen tähden. Kun vety on kulutettu lähes loppuun, tähden pääsarjavaihe päättyy. Kun ytimen vetyvarasto on fuusioitunut heliumiksi, vedyn fuusioreaktio siirtyy kuoreen ja ulko-osa alkaa laajeta. Heliumytimen massa kasvaa, ja se kutistuu ja kuumenee. Tähdessä tulee punainen jättiläinen. Pikkuhiljaa tähden lämpötila laskee ja väri muuttuu entistä punaisemmaksi.

1 p.

Lopulta tähti alkaa luhistua, kun säteilypaine pienenee. Pienimassainen tähti vapauttaa luhistuessaan pintakerroksensa kaasun avaruuteen, mutta ydin tiivistyy pieneksi kuumaksi palloksi. Tähdessä tulee valkoinen kääpiö. Valkoinen kääpiö sisältää hiiltä ja happea. Koska fuusioreaktiot ovat loppuneet, valkoinen kääpiö vähitellen jäähtyy ja sammuu. Tällöin tähteä kutsutaan mustaksi kääpiöksi. Auringolla on tämä kohtalo, kuten kaikilla enintään kolme kertaa Auringon massaisilla tähdillä.

2 p.

Suurimassainen tähti räjähtää luhistuessaan. Räjähdyttä kutsutaan supernovaksi. Supernovassa syntyy fuusioreaktioissa rautaa raskaampia alkuaineita, kuten lyijyä ja uraania, mikä kuluttaa energiaa. Nämä alkuaineet vapautuvat avaruuteen räjähdysvoimasta. Tähdessä ydin puolestaan luhistuu tiiviiksi neutronitähdeksi eli pulsariksi. Koska tähden pyörimismäärä säilyy, se pyörii sitä suuremmalla kulmanopeudella, mitä pienempi ydin on. Kun neutronitähti pyörii kiivaasti, se lähettää radioaaltoja ympäristöön, minkä vuoksi neutronitähti on helppo havaita mittalaitteilla.

2 p.

Todella suurimassaiset tähdet muuttuvat supernovassa mustaksi aukoksi. Tällöin tähden ydin tiivistyy erittäin pieneen tilavuuteen. Mustan aukon gravitaatiokenttä on niin voimakas, ettei mikään aine tai valo pääse pakenemaan mustasta aukosta. Tätä aluetta, josta valokaan ei pääse pakenemaan, kutsutaan tapahtumahorisontiksi ja sen sädettä Schwarzschildin säteeksi.

1 p.

Tehtävä +13

- a) Elektronien suurin mahdollinen kineettinen energia on $E_k = eU$, missä U on kiihdytysjännite ja e alkeisvaraus. Elektronien törmätessä elohopea-atomeihin ne menettävät energiaansa atomeille. Kuvaajasta nähdään, että energianmenetystä tapahtuu eniten kiihdytysjännitteen arvoilla 5,0 V, 10,0 V ja 15,0 V.

Tulos voidaan tulkita siten, että näillä kiihdytysjännitteen arvoilla atomit ottavat vastaan koko elektronin liike-energian. Atomin energiatilat ovat kvantittuneet.

Kun atomi ottaa vastaan energiaa, se siirtyy viritystilalle. Viritystilan purkautuessa emittoituu fotoni, jonka energia on sama kuin atomin viritystilan ja perustilan energioiden ero. Syntyneen säteilyn aallonpituus määräytyy fotonin energiasta $E = hf$, missä $f = c/\lambda$. Kuvaajasta erottuu kolme huippua, joiden energiat ovat likimain energian E monikertoja.

Kysymyksessä on atomin yksi viritystila ja sen purkautuminen perustilalle. Ensimmäinen piikki vastaa energiakvantin absorboitumista ensimmäisessä törmäyksessä. Toinen piikki ja kolmas piikki vastaavat seuraavia törmäyksiä. Tämä tulkinta selittää, miksi kokeissa havaitaan vain yhtä tarkasti määrättyä aallonpituutta.

- b) Kuvaajasta luetaan piikkien väliseksi jännite-eroksi 5,0 V, joka vastaa energiaa $E = 5,0$ eV. Käyttämällä tätä arvoa aallonpituudeksi saadaan:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4,1356 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5,0 \text{ eV}} = 248 \text{ nm}$$