



## FYSIIKAN KOE 11.3.2015 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 teorian rakenteina 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

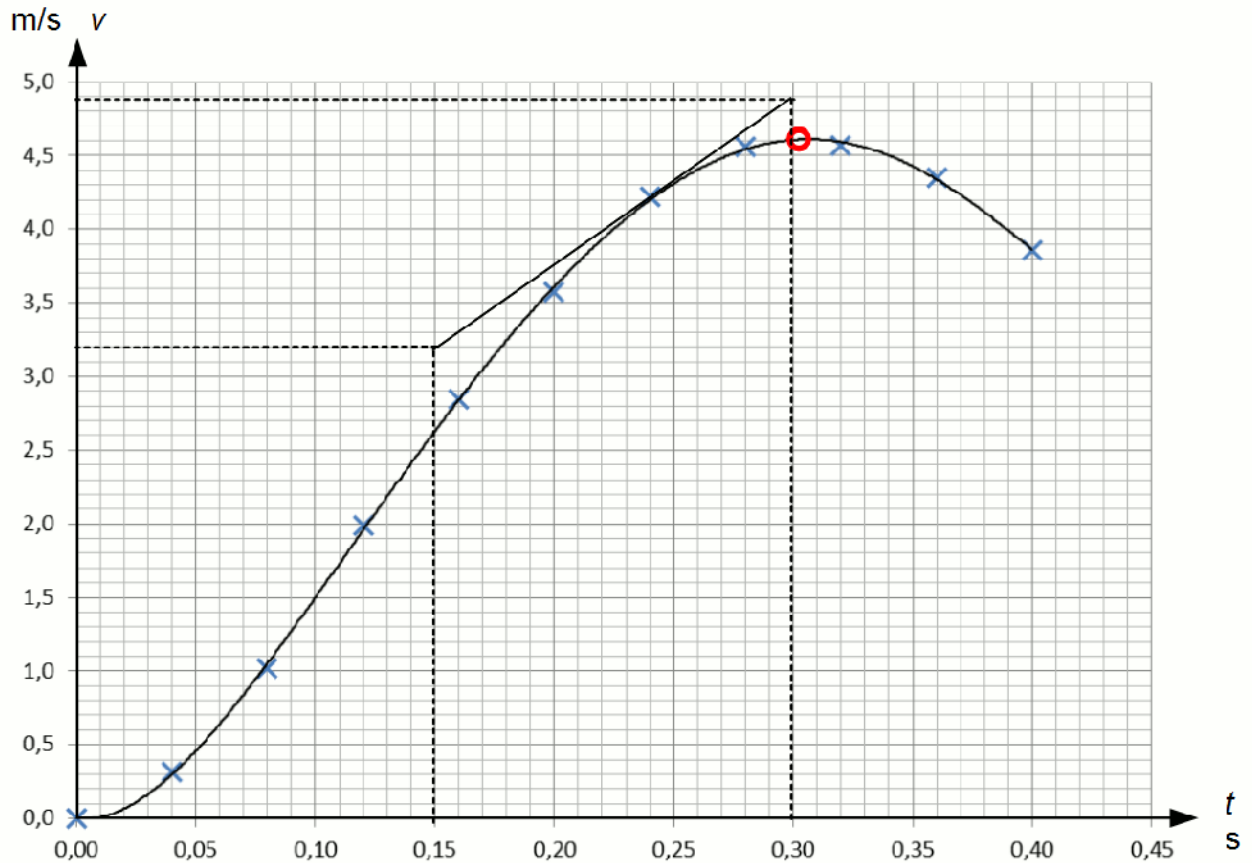
Oikeat paikka–nopeus-kuvaajaparit:

a	b	c	d	e	f
5	4	7	1	2	6

1 piste / kohta

## Tehtävä 2

a)



Kuvaaja 3 p.

b) Piste, jossa sammakon ratanopeus on suurin, on merkitty kuvaajaan punaisella ympyrällä.

1 p., kun piirretty piste on kuvaajalla oikeiden datapisteiden välissä.

c) Hetkellinen kiihtyvyys hetkellä 0,24 s on nopeuden kuvaajalle tätä hetkeä vastaavaan pisteeseen piirretyn tangenttisuoran kulmakerroin. 1 p. (tangenttisuora piirretty)

Määritetään kulmakerroin kahden tangenttisuoran pisteen avulla.

$$a(0,24 \text{ s}) = \frac{(4,9 - 3,2) \text{ m/s}}{(0,30 - 0,15) \text{ s}} = 11,333333 \text{ m/s}^2 \approx 11 \text{ m/s}^2$$

1 p.

### Tehtävä 3

- a) Veden lämpötila laskee tunnin kuluessa 1,2 °C. Oletetaan, että veden tiheys on tasan 1 kg/L. Lämpötilan laskiessa vedestä ympäristöön siirtyvä lämpö on

$$Q = cm\Delta T = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 45,0 \text{ kg} \cdot (37,0 - 35,8)^\circ\text{C} = 226260 \text{ J} \approx 226 \text{ kJ} . \quad 2 \text{ p.}$$

- b) Jotta vesi pysyisi vakio­lämpötilassa, tunnin aikana veteen on siirrettävä  $Q$ :n verran lämpöä. Keskimääräinen lämmitysteho on

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{226260 \text{ J}}{3600 \text{ s}} = 62,85 \text{ W} \approx 62,9 \text{ W} . \quad 2 \text{ p.}$$

- c) Vetoketjun kohdalla eristävää materiaalia ei ole. Metallinen vetoketju johtaa hyvin lämpöä, ja sen lämpökapasiteetti on pieni, jolloin sen lämpötila nousee helposti lähelle makuupussin sisälämpötilaa. 2 p.

### Tehtävä 4

- a) Ilman taitekerroin on 1,00, eli se on pienempi kuin sarveiskalvon taitekerroin 1,38. Kun valonsäde kulkee optisesti harvemmasta optisesti tiheämpään aineeseen rajapinnan läpi, se taittuu pinnan normaalin suuntaan. Täten sarveiskalvo muodostaa kaukaisesta esineestä todellisen kuvan tarkkan näkemisen alueelle verkkokalvolle, joka on noin 2,5 cm:n päässä rajapinnasta. Valon taittumiskulma saadaan taittumislaista

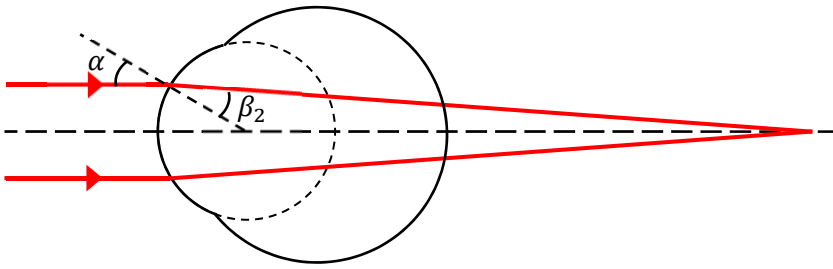
$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta_1 \\ \sin \beta_1 = \frac{1,00}{1,38} \sin \alpha \approx 0,72 \cdot \sin \alpha$$

Kun valonsäde tulee vedestä sarveiskalvoon, se taittuu myös tällöin kohti pinnan normaalia, koska veden taitekerroin 1,33 on pienempi kuin sarveiskalvon taitekerroin. Veden taitekerroin on kuitenkin paljon suurempi kuin ilman taitekerroin, jolloin valonsäde taittuu paljon vähemmän kuin tullessaan ilmasta silmään. Taittumiskulma saadaan taittumislaista

$$\sin \beta_2 = \frac{1,33}{1,38} \sin \alpha \approx 0,96 \cdot \sin \alpha$$

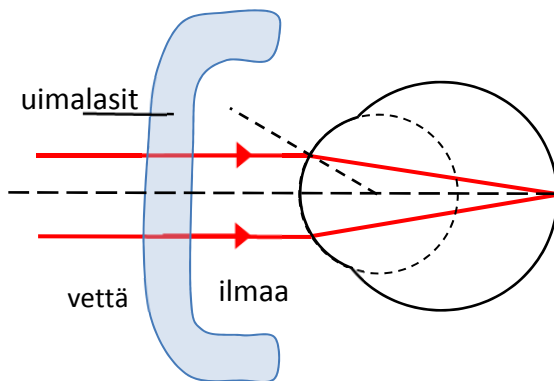
Taittumislain avulla voidaan todeta, että taittumiskulma valon tullessa vedestä silmään on hyvin lähellä tulokulmaa, jolloin valonsäteet eivät leikkaa verkkokalvolla. 2 p.

Tämä aiheuttaa sen, että tarkkaa kuvaa kaukaisesta esineestä ei muodostu, kuten alla oleva kuva osoittaa. Tällöin ihminen ei näe tarkasti kaukaisia esineitä vedessä.



1 p.

Kun vedessä käytetään uimalaseja, silmän eteen jää ohut ilmakerros, joka mahdollistaa tarkan näkemisen. Tällöin tilanne vastaa tehtävänannossa esitettyä kuvaa, jossa silmä on ilmassa.



1 p.

- b) Kovera silmälasin linssi hajottaa kaukaisesta esineestä tulevat valonsäteet, jolloin kuva muodostuu silmässä kauemmas kuin ilman silmälaseja. Ilman silmälaseja kaukaisen esineen kuva muodostuu verkkokalvon eteen, jolloin likinäköinen henkilö ei näe kaukaisia esineitä tarkasti. Tämä johtuu siitä, että likinäköisen henkilön silmämuna on liian pitkä, eli verkkokalvon tarkan näkemisen alue on liian kaukana sarveiskalvon pinnasta silmän taittokykyyn nähden.

Sarveiskalvon kaarevuussädettä on muutettava siten, että kuva muodostuisi korjausleikkauksen jälkeen kauemmas kuin ennen leikkausta. Tämä saadaan aikaan vähentämällä sarveiskalvon kuperuutta eli kasvattamalla kaarevuussädettä.

2 p.

(Jos kaarevuussädettä pienennetään, pinta on entistä kuperampi ja kuva muodostuisi entistä lähemmäs rajapintaa ja kauemmas verkkokalvoa. Kaukonäköisen ihmisen taittovirheen korjausleikkauksessa kaarevuussädettä on pienennettävä.)

## Tehtävä 5

- a) Langan ja kitkajarrun välinen kitkavuorovaikutus vaikuttaa molempiin yhtä voimakkaasti, joten kumpaankin kohdistuvat voimat (kitkavoima ja sen vastavoima) ovat yhtä suuret. Nämä ovat koetilanteessa ainoat vaunujen liikettä muuttavat voimat.

Lasketaan vaunuun A kohdistuva voima.

$$\text{Newton II: } F = ma$$

Vaunun A keskikiikkyvyys saadaan sovittamalla tehtäväpaperin vaunun A nopeuden kuvaajaan suora aikavälillä 0 s – 0,8 s, ja määrittämällä suoran kulmakerroin kahden suoralta luetun pisteen avulla.

$$a_A = \frac{(0,80 - (-0,19)) \text{ m/s}}{(0,80 - 0,00) \text{ s}} = 0,35625 \text{ m/s}^2$$

Kitkajarrun lankaan kohdistama kitkavoima:

$$F_\mu = m_A a_A = 0,222 \text{ kg} \cdot 0,35625 \text{ m/s}^2 = 0,0790875 \text{ N} \approx 0,079 \text{ N}$$

2 p.

- b) Newtonin III lain mukaan vaunuun B kohdistuva voima on itseisarvoltaan yhtä suuri kuin vaunuun A kohdistuva voima, mutta vastakkaisuuntainen.

$$-F_\mu = m_B a_B$$

Vaunun B kiihtyvyys saadaan vastaavalla tavalla kuin vaunun A kiihtyvyys.

$$a_B = \frac{(0,18 - 0,34) \text{ m/s}}{(0,80 - 0,00) \text{ s}} = -0,2 \text{ m/s}^2$$

Vaunun B massa:

$$m_B = \frac{-F_\mu}{a_B} = \frac{-0,0790875 \text{ N}}{-0,2 \text{ m/s}^2} = 0,3954375 \text{ kg} \approx 0,40 \text{ kg}$$

2 p.

Massan voi ratkaista myös liikemäärän säilymislain avulla.

- c) Koska mikään ulkoinen voima ei muuta vaunujen liikettä, systeemin liikemäärä säilyy. Tällöin vaunujen yhteinen massakeskipiste etenee tasaisella nopeudella, joka on sama kuin vaunujen yhteinen nopeus  $v_{AB}$  ennen jousen laukaisua. Jarrutuksen päätyttyä vaunujen nopeudet ovat ajan hetkellä  $t = 0,97 \text{ s}$  yhtä suuret,  $v_A = v_B = 0,16 \text{ m/s}$ , joka on myös systeemin massakeskipisteen nopeus. Näin ollen  $v_{AB} = 0,16 \text{ m/s}$ .

2 p.

## Tehtävä 6

a) Maapallon radan säde	$s = 149,597 \cdot 10^9 \text{ m}$	
Maapallon massa	$m = 5,9737 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	
Maapallon säde	$r = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$	
Kiertoaika Auringon ympäri	$T = 365 \text{ d}$	
Maapallon keskinopeus radalla	$v = 29,78 \text{ km/s}$	
Pyörähdysaika akselinsa ympäri	$t = 24 \text{ h}$	1 p.

Tehtävän tilanteessa ratanopeuden suuruus on vakio, koska Maahan kohdistuva gravitaatiovoima suuntautuu kohti radan keskipistettä ja on siten aina kohtisuorassa rataa vastaan. Siksi gravitaatiovoima ei pysty muuttamaan Maan ratanopeuden suuruutta.

Kiertoliikkeen liike-energia:

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 5,9737 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot (29780 \text{ m/s})^2 = 2,6488831 \cdot 10^{33} \text{ J} \approx 2,65 \cdot 10^{33} \text{ J}$$

1 p.

Pyörimisenergia:

$$\begin{aligned} E_R &= \frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} \cdot mr^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{t}\right)^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} \cdot 5,9737 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot (6,371 \cdot 10^6 \text{ m})^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}}\right)^2 \\ &= 2,5646073 \cdot 10^{29} \text{ J} \approx 2,56 \cdot 10^{29} \text{ J} \end{aligned}$$

1 p.

- b) Maapallon mekaaninen kokonaisenergia koostuu gravitaatiovuorovaikutuksen potentiaalienergiasta, rataliikkeen liike-energiasta ja pyörimisenergiasta. 1 p.

Ympyräradalla auringon ympäri potentiaalienergia on vakio

$$E_p = -\gamma \frac{mM}{r},$$

missä  $m$  on maapallon massa,  $M$  auringon massa,  $r$  ympyräradan säde ja  $\gamma$  gravitaatiovakio. 1 p.

Ympyräradan saa aikaiseksi auringon gravitaatiovoima, joka Newtonin II lain mukaan saa aikaan maapallon normaalikiihtyvyyden  $\vec{F} = m\vec{a}_n$ , missä normaalikiihtyvyyden suuruus on

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

ja painovoiman suuruus on

$$F = \gamma \frac{mM}{r^2}.$$

Maapallon liike-energia radallaan on

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mra_n = \frac{1}{2}mr\frac{F}{m} = \frac{1}{2}\gamma\frac{mM}{r},$$

joten

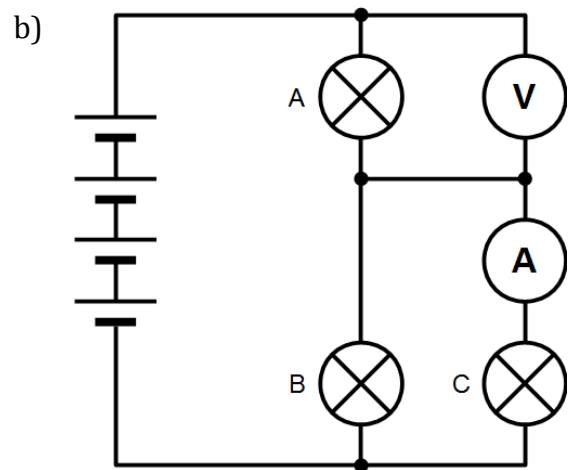
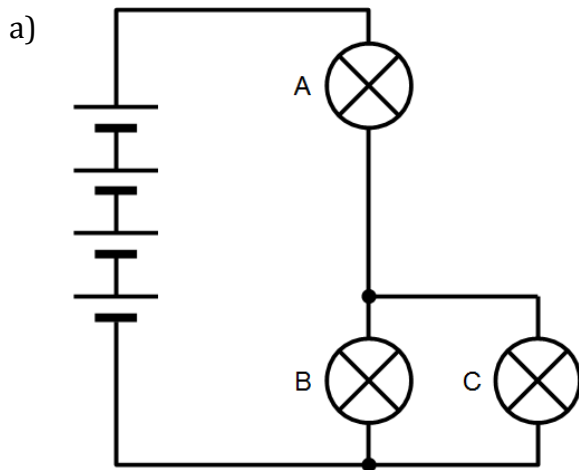
$$E_p = -2E_k.$$

Mekaaninen kokonaisenergia on

$$\begin{aligned} E &= E_p + E_k + E_R = -E_k + E_R \\ &= -2,6488831 \cdot 10^{33} \text{ J} + 2,5646073 \cdot 10^{29} \text{ J} \\ &= -2,6486267 \cdot 10^{33} \text{ J} \approx -2,65 \cdot 10^{33} \text{ J}. \end{aligned}$$

1 p.

### Tehtävä 7



a)

- Käytetään oikeita kytkentäsymboleja ja johdinliitokset merkitty tai ne erottuvat selvästi. 1 p.
  - Paristot on kytketty sarjaan. 1 p.
  - Lamput B ja C on kytketty rinnan. 1 p.
  - Lampun A paikka on piirretty oikein suhteessa paristojen napaisuuteen. 1 p.
- Myös toisin piirretty kytkentäkaavio hyväksytään, kunhan se on oikein.

b)

- Virtamittari on piirretty lampun C kanssa sarjaan. 1 p.
- Jännitemittari on piirretty lampun A rinnalle. 1 p.

## Tehtävä 8

a) Merivedessä on yhtä suuret määrät positiivisia ja negatiivisia ioneja. Jännitteen synnyttämä sähkökenttä saa ionit liikkeeseen. Sähkövirta on ionien liikettä. 1 p.

b) Moottorin työntövoima syntyy magneettikentän ja liikkuvien ionien välisestä vuorovaikutuksesta. Kun elektrodien välillä kulkee virta  $I$ , ioneihin kohdistuu magneettinen voima, joka on yhtä suuri sekä positiivisille että negatiivisille ioneille. 1 p.

Kokonaisvoima, joka kohdistuu varausta kuljettaviin ioneihin, on  $F = IlB$ , ja se on meriveden virtauksen suuntainen. 1 p.

Vastaavasti laivaan kohdistuu Newtonin III:n lain mukaisesti samansuuruinen mutta vastakkaissuuntainen voima. 1 p.

c) Kun elektrodien välillä kulkee virta  $I$ , ioneihin kohdistuu magneettinen voima

$$F = IlB = 700 \text{ A} \cdot 0,30 \text{ m} \cdot 15 \text{ T} = 3150 \text{ N} \approx 3,2 \text{ kN}$$

Laivaan kohdistuva työntövoima on yhtä suuri. 2 p.



## Tehtävä 9

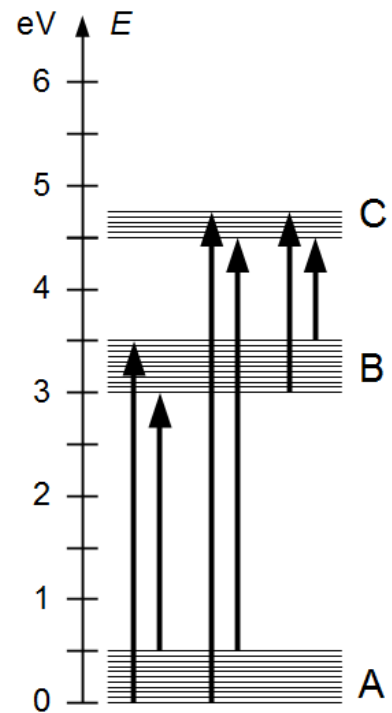
- a) Absorptiossa kvartsikide ottaa vastaan fotonin energian, jonka on vastattava jotakin vyöhykkeeltä toiselle tapahtuvan siirtymän energiaerotusta. Fotonienergian ja säteilyn aallonpituuden välinen yhteys on  $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$ , josta  $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$ .

1 p.

Absorptio A→B: fotonien energiat  
2,50 eV – 3,50 eV vastaavat aallonpituuksia  
354 nm – 496 nm.

Absorptio A→C: fotonien energiat  
4,00 eV – 4,75 eV vastaavat aallonpituuksia  
261 nm – 310 nm.

Absorptio B→C: fotonien energiat  
1,00 eV – 1,75 eV vastaavat aallonpituuksia  
709 nm – 1240 nm



1 p.

Emissiossa rakenne siirtyy alempaan energiatilaan ja lähettää samalla fotonin, jonka energia vastaa vyöhykkeeltä B tai C vyöhykkeelle A tapahtuvan siirtymän energiaerotusta.

1 p.

Tällöin emittoituvan säteilyn aallonpituus on 354 nm – 496 nm tai 261 nm – 310 nm.

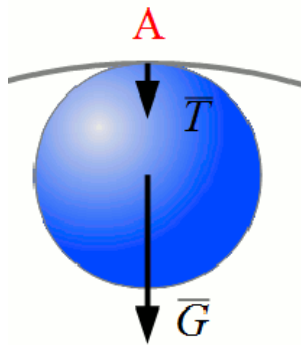
1 p.

- b) Emissiospektrissä ei näy yksittäisiä siirtymiä vastaavia viivoja, vaan kaksi yhtenäisempää kaistaa, joista toinen kattaa aallonpituudet 354 nm – 496 nm ja toinen aallonpituudet 261 nm – 310 nm.

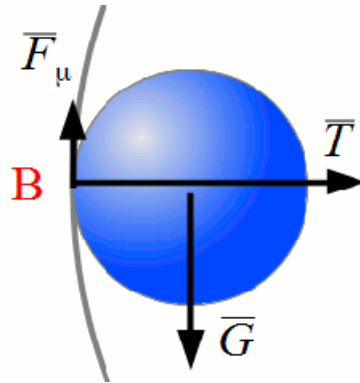
2 p.

## Tehtävä 10

a)



Pisteessä A kuulaan vaikuttavat kuulan paino  $\vec{G}$  ja radan tukivoima  $\vec{T}$ . Rajatapauksessa  $\vec{T} = \vec{0}$ .



Pisteessä B kuulaan vaikuttavat kuulan paino  $\vec{G}$ , radan tukivoima  $\vec{T}$  ja kitkavoima  $\vec{F}_\mu$ .

1 p.+1 p.

b) Kuulan mekaaninen kokonaisenergia säilyy, eli potentiaalienergian, liike-energian ja rotaatioenergian muutosten summa on nolla. Alkutilanteessa  $v = 0, \omega = 0$ .

$$\Delta E_P + \Delta E_K + \Delta E_R = 0$$

$$mg\Delta y + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2 = 0 \quad (1)$$

$$\text{Vierimisehto: } \omega = \frac{v}{r} \quad (2)$$

2 p.

Pisteessä A rajatilanteessa pallon ja radan välinen tukivoima on nolla, ja pallon paino yksin aiheuttaa ympyräradan normaalikihtiyyden.

Newtonin II lain mukaan:

$$G = ma_n$$

$$mg = m \frac{v^2}{\rho}, \text{ missä } \rho \text{ on pallon painopisteen radan säde: } \rho = R - r.$$

Saadaan

$$v^2 = (R - r)g \quad (3)$$

1 p.

Sijoittamalla umpinaisen pallon hitausmomentti  $J = \frac{2}{5}mr^2$ , (2) ja (3) lausekkeeseen (1)

saadaan

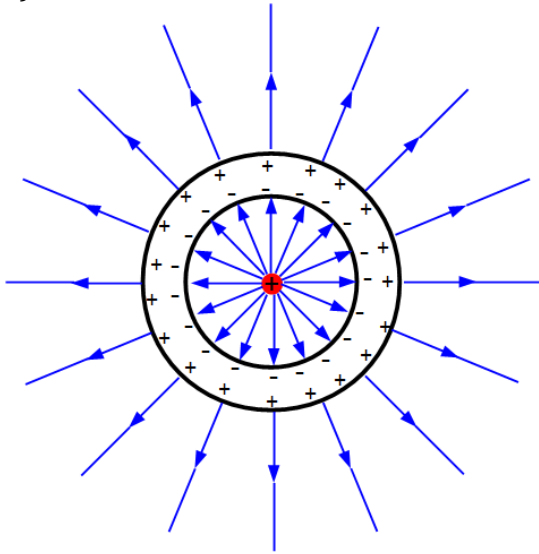
$$mg \cdot (2(R - r) - h) + \frac{1}{2}m(R - r)g + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}mr^2 \cdot \frac{(R-r)g}{r^2} = 0$$

$$h = \frac{27}{10}(R - r)$$

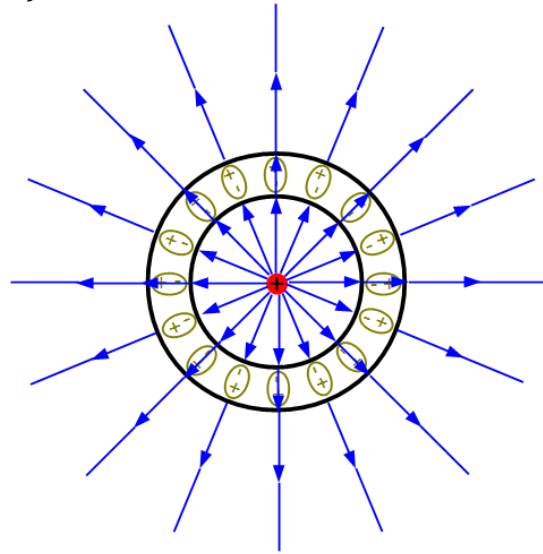
1 p.

## Tehtävä 11

a)



b)



3 p. / oikea kuva

Johtavan pallokuoren sisäpinta on negatiivisesti varautunut, ulkopinta positiivisesti varautunut, ja pallokuoressa olevien varausten summa on nolla. Eristeessä tapahtuu polarisaatiota, joka heikentää kenttää.

Sähkökentän suunta on positiivisesta negatiiviseen. Kenttäviivoja on yhtä paljon pallokuoren sisä- ja ulkopuolella. Johtavan pallokuoren sisällä ei ole kenttäviivoja. Eristepallokuoressa on vähemmän kenttäviivoja kuin sen ulkopuolella.

## Tehtävä +12

a) Höyrinpaine 25 °C:n lämpötilassa

1 p.

b) Kun venttiili on kiinni, kaasu- ja nestefaasi ovat pullossa tasapainossa, ja pullossa on vallitsevaa lämpötilaa vastaava kylläisen höyryn paine. Kun venttiili avataan, kaasua purkautuu ulos, jolloin paine pullossa pyrkii laskemaan. Tällöin neste alkaa kiehua.

2 p.

c) Kylläisen höyryn paine ja siten myös kaasusuihkun voimakkuus riippuu vain lämpötilasta, ei pullossa olevan nesteen määrästä.

2 p.

d) Kun kaasua päästetään ulos vakiomäärä, myös nestettä höyrystyy pullossa vakiomäärä. Nesteen höyrystyminen vaatii vakiomäärän energiaa, ja nesteen sisäenergia vähenee vastaavalla määrällä. Sisäenergian pieneneminen johtaa lämpötilan laskuun. Mitä vähemmän nestettä on, sitä suurempi on lämpötilan lasku, kun neste luovuttaa tietyn energiamäärän.

2 p.

e) Kaasu voidaan nesteyttää puristamalla, jos lämpötila on kaasun kriittisen pisteen alapuolella. Ilma koostuu lähes kokonaan typestä ja hapestä. Taulukosta nähdään, että huoneenlämpötila on paljon näiden kaasujen kriittisiä lämpötiloja korkeampi. Näin ollen ilmaa ei voi huoneenlämpötilassa pakata paineastiaan niin, että astiassa olisi ilmaa myös nestemäisessä olomuodossa. Tetrafluorietaanille pakkaaminen onnistuu, koska huoneenlämpötila on kaasun kriittistä lämpötilaa matalampi.

2 p.

### Tehtävä +13

a)

Hiukkasfysiikan standardimalli kuvaa aineen rakennetta ja vuorovaikutuksia perushiukkasten ja perusvuorovaikutusten tasolla. Mallin lähtökohtana ovat havaitut symmetriat ja säilymislait.

Perushiukkaset: Standardimallin mukaan aine koostuu perushiukkasista, joita ovat kvarkit ja leptonit. Kaikkiaan kvarkkeja on kuusi eri laji (u, d, s, c, b ja t), samoin leptoneita on kuusi eri lajia ( $e$ ,  $\nu_e$ ,  $\mu$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\tau$ ,  $\nu_\tau$ ). Lisäksi hiukkasfysiikan standardimalliin kuuluvat kvarkkien ja leptonien antishiukkaset. Standardimallin mukaan aineen perushiukkaset ja niiden antishiukkaset kummatkin jakautuvat kolmeen perheeseen, jotka ovat elektronin, myonin ja taun perheet. Jokaiseen perheeseen kuuluu neljä perushiukkasta, kaksi kvarkkia ja kaksi leptonia.

2 p.

b)

Perusvuorovaikutukset: Hiukkasfysiikan standardimalli kuvaa perushiukkasten välisiä perusvuorovaikutuksia, joita ovat sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus. Neljäs perusvuorovaikutus eli gravitaatiovuorovaikutus ei ole mukana standardimallissa. Standardimalli selittää perusvuorovaikutukset välittäjähiukkasten avulla. Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen on fotoni ( $\gamma$ ), vahvan vuorovaikutuksen gluoni (g), ja heikon vuorovaikutuksen välittäjähiukkasia ovat välibosonit ( $W^+$ ,  $W^-$  ja  $Z^0$ ).

2 p.

c)

Standardimallissa hiukkasten massat selitetään Higgsin kentän avulla. Koko avaruuden täyttävä Higgsin kenttä vuorovaikuttaa hiukkasten kanssa, minkä seurauksena ilmenevää hiukkasen hitautta kutsumme massaksi. Malli ennustaa uuden hiukkasen eli ns. Higgsin bosonin, jonka tuotosta hiukkaskiihdyttimillä on jo saatu kokeellisesti viitteitä.

2 p.

d)

Neutriinon tutkiminen on vaikeaa erityisesti siitä syystä, että ne vuorovaikuttavat vain heikon vuorovaikutuksen kautta. Tämän takia niitä ei kyetä havaitsemaan tavanomaisilla hiukkasilmäyksillä, joissa vuorovaikutuksen todennäköisyys on häviävän pieni. Ilman vuorovaikutusta hiukasta ei voida havaita. Pieni osa neutriinoista voidaan kuitenkin havaita hyvin suurilla hiukkasilmäyksillä.

1 p.

Higgsin hiukkasen tutkiminen on vaikeaa erityisesti kahdesta syystä: Ensinnä Higgsin hiukkasen massa on niin suuri eli yli satakertainen protonin massa verrattuna, että sen tuottaminen onnistuu vain kaikkein suurien energioiden olemassa olevilla hiukkaskiihdyttimillä (Einsteinin kaavan  $E = mc^2$  mukaisesti).

1 p.

Toiseksi hiukkaskiihdyttimillä aikaan saaduissa hiukkastörmäyksissä muiden tavanomaisempien hiukkasten ohessa vain erittäin harvoin tuotetaan Higgsin hiukkanen. Tällöin sen signaalin löytäminen suuresta tuotetusta datamäärästä on haasteellista.

1 p.