Fysiikan preliminääri kevät 2020 ratkaisut

OSA I

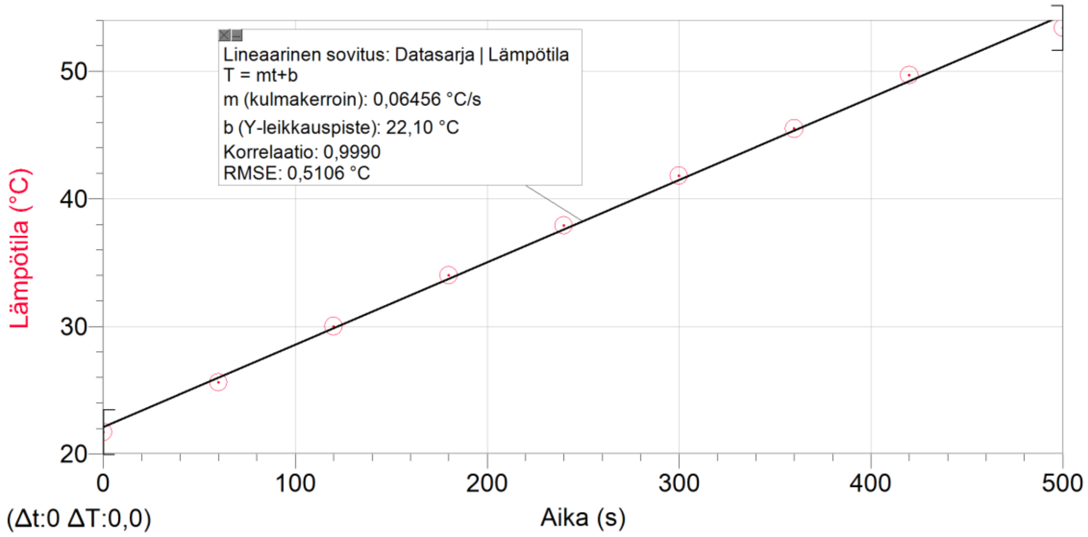
1.1. Vahva vuorovaikutus
1.2. Pohjantähti
1.3. Tuulivoimala
1.4. Kondensaattorin varaus
1.5. $F = 0$
1.6. C
1.7. Ääni ei läpäise rajapintaa, vaan kokonaisheijastuu
1.8. Valkoinen valo
1.9. 6,25 %
1.10. Ei mitään fotonit kulkevat vetykaasun läpi

OSA II

Tehtävä 2 (15 p.)

2.1.

Muodostetaan aika-lämpötila-kuvaaja. Sovitetaan pistejoukkoon suora.

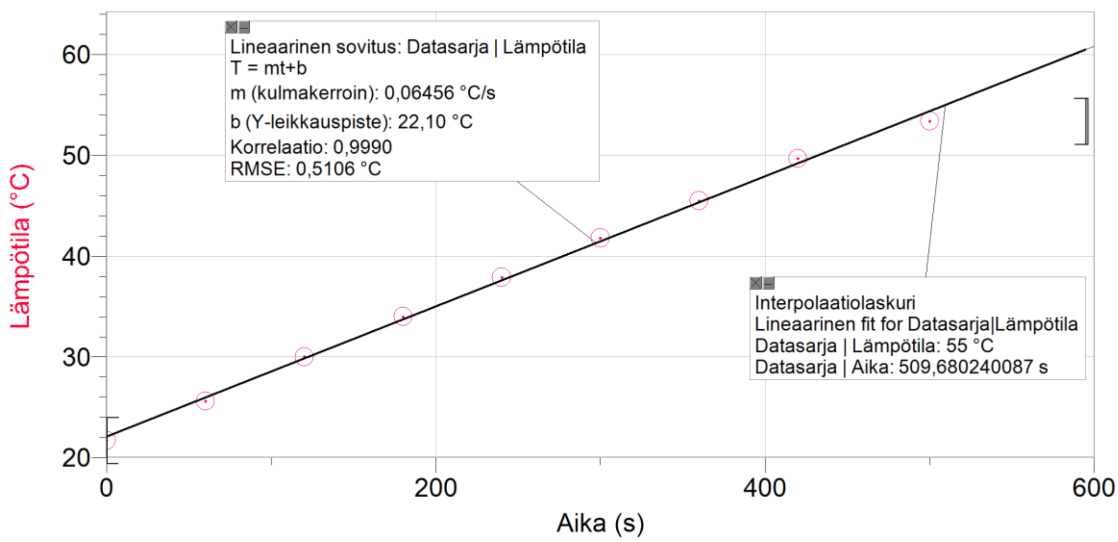


Akselit oikein ja niissä suureet ja yksiköt. (2 p.)

Mittauspisteet näkyvissä, suoran sovitus tehty (2 p.)

2.2.

Ekstrapoloidaan kuvaajaa, jolloin kysytty piste saadaan näkyviin.



Kysytty lämpötila saavutetaan 510 sekunnin kohdalla.

Oikea periaate (2 p.) (Myös sovituksen yhtälön perusteella ratkaistu aika kelpaa.) Vastaus (1 p.)

2.3.

Neste vastaanottaa lämmitessään energian

$$Q = cm\Delta T$$

Teho on siirtynyt energia jaettuna siihen kuluvalla ajalla.

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{cm\Delta T}{\Delta t}$$

Ominaislämpökapasiteetti on

$$c = \frac{P}{m \cdot \Delta T/\Delta t}$$

(3 p.)

Sovitetun suoran kulmakerroin on

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0{,}06456\ \frac{℃}{s}$$

(2 p.)

$$c = \frac{35\ \mathrm{W}}{0{,}25\ \mathrm{kg} \cdot 0{,}06456\ \frac{℃}{\mathrm{s}}} \approx 2170\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot ℃}$$

(2 p.)

2.4.

Määritetty ominaislämpökapasiteetti on lähellä asetonin ominaislämpökapasiteettia. Kyseessä voisi olla asetoni.

(1 p.)

Tehtävä 3 (15 p.)

3.1.

- Kytkentä on vaarallinen
- Sähkövirtamittarin resistanssi on hyvin pieni ja mittarin kautta kulkee hyvin suuri sähkövirta
- Kuvattu suuren sähkövirran jokin mahdollinen seuraus järkevästi (sulake palaa, mittari vioittuu,…)

(1 p.) / pallukka

3.2.

- Pistorasian napojen välinen jännite on rasian ominaisuus
- Rasiasta tuleva sähkövirta riippuu rasiaan kytketystä kuormasta, eli ei ole rasian ominaisuus
- Jännitteitä on mielekkäämpää verrata kuin sähkövirtaa
- Mutta jännite ei "tule" rasiasta, vaan on rasiassa olevien napojen välinen potentiaaliero

(1 p.) / pallukka

3.3.

- Mainittu, että vedenkeittimet on kytketty rinnan tai muuten perusteltu, että tehonkulutukset voidaan laskea yhteen
- Tehon kaava $P = UI$
- Ymmärretty, että jännite on noin 230 V
- Ratkaistu virta

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5 \cdot 750\ \mathrm{W}}{230\ \mathrm{V}} \approx 16{,}3\ \mathrm{A}$$

- Päätelmä, että sulake palaa

(1 p.) / pallukka

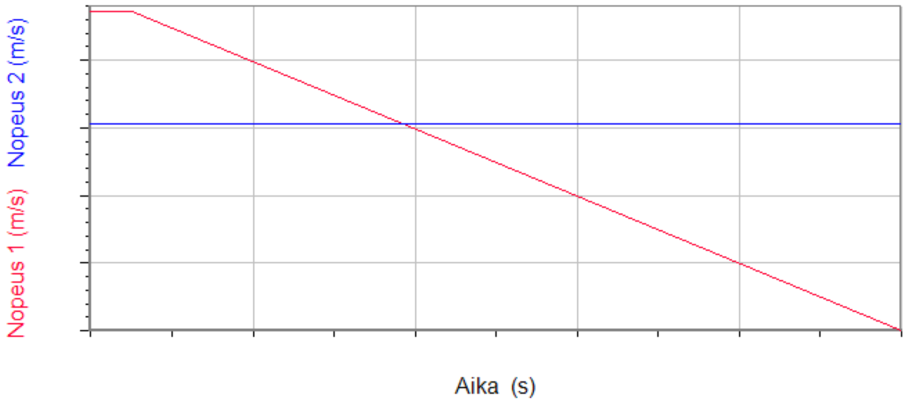
3.4.

- Ymmärretty, että sulakkeen tehtävä on katkaista sähkövirta, jos sähkövirta kasvaa liian suureksi
- Suuri sähkövirta tuottaa lämpöä
- Kuvailtu jokin realistinen riski, joka ilman sulaketta olisi (ylikuumeneminen, tulipalo, …)
  TAI
  Kuvattu jokin tilanne, jossa sulaketta tarvitaan (liikaa kuormaa, vioittunut laite, …)

(1 p.) / pallukka

Tehtävä 4 (15 p.)

4.1.



Kelpaa myös kuvaaja, jossa jarrutus alkaa kohdassa 0 s.

Akselit (2 p.)

Tasaisen liikkeen kuvaaja (1 p.)

Kiihtyvän liikkeen kuvaaja (2 p.)

4.2.

Merkitään alkunopeuksia

$$v_{01} = \frac{85}{3{,}6}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$v_2 = \frac{55}{3{,}6}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Välimatka jarrutuksen alkaessa

$$d = 22\ \mathrm{m}$$

Auton 1 liike on tasaisesti kiihtyvää ja auton 2 tasaista. Niiden paikkaa kuvaavat lausekkeet

$$x_1 = v_{01}t + \frac{1}{2}at^2\ (1)$$

$$x_2 = d + v_2 t\ (2)$$

(2 p.)

Mikäli törmäys juuri ja juuri vältetään, ovat autot hetkellä *t* samassa paikassa ja niiden nopeudet ovat yhtä suuret. Nämä ilmaistaan yhtälöillä

$$x_1 = x_2\ (3)$$

$$v_{01} + at = v_2\ (4)$$

(4 p.)

Ratkaistaan kiihtyvyyden lauseke esimerkiksi CAS-laskimella edellä määritellyistä yhtälöistä 1-4.

Ratkaisuksi saadaan

$$a = \frac{-v_{01}^2 + 2v_{01}v_2 - v_2^2}{2d}$$

Sijoittamalla edellä määritetyt lukuarvot

$$a = -1{,}57828\ \mathrm{m/s^2} \approx -1{,}6\ \mathrm{m/s^2}$$

(4 p.)

Tehtävä 5 (15 p.)

5.1.

Satelliitti on ympyräradalla. Satelliittiin vaikuttaa ainoastaan gravitaatiovoima G.

$$G = \gamma \frac{Mm}{r^2}$$

(2 p.)

Satelliitti on ympyräradalla tasaisessa ympyräliikkeessä. Newtonin 2. lain mukaan

$$G = ma_n$$

(1 p.)

Normaalikiihtyvyys

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

(1 p.)

Satelliitti liikkuu tasaisella vauhdilla.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{T}$$

T on kierrosaika.

(2 p.)

Ratkaistaan kierrosajan lauseke edellä mainituista yhtälöistä

$$\gamma \frac{mM}{r^2} = \frac{m(2\pi r)^2}{rT^2}$$

$$\gamma \frac{M}{r^3} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{\gamma M}}$$

(2 p.)

$r = 6357000\ \mathrm{m} + 605000\ \mathrm{m} = 6962000\ \mathrm{m}$

$\gamma = 6{,}674 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N\ kg^2\ m^{-2}}$

$M = 5{,}975 \cdot 10^{24}\ \mathrm{kg}$

$$T = 5780{,}3640\ \mathrm{s}$$

(2 p.)

Vuorokauden pituus

$$t = 24 \cdot 60 \cdot 60\ \mathrm{s} = 86400\ \mathrm{s}$$

Kierrosten lukumäärä vuorokaudessa

$$n = \frac{t}{T} \approx 14{,}9 \text{ kierrosta}$$

(2 p.)

5.2.

Geostationäärinen satelliitti kiertää Maata ekvaattoritasossa radalla, jonka kierrosaika on yhtä suuri kuin Maan pyörähdysaika akselinsa ympäri.

(2 p.)

Ratakäyrä on piste ekvaattorilla sen paikan yläpuolella, jonne satelliitti on sijoitettu.

(1 p.)

Tehtävä 6 (15 p.)

6.1.

Toisiokäämiin indusoituu jännite, jonka suuruus riippuu induktiolain mukaisesti magneettivuon muutosnopeudesta.

$$e = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

(1 p.)

Sähkövirran synnyttämä magneettikenttä läpäisee toisiokäämin. Magneettivuon tiheys ja magneettivuo ovat suoraan verrannolliset ensiökäämin sähkövirtaan. Näin ollen toisiokäämissä mitattava jännite on suoraan verrannollinen ensiökäämin sähkövirran muutosnopeuteen. Sähkövirran hetkellinen muutosnopeus on sen derivaatta, joten

$$e \sim \frac{d\mathrm{I}}{dt}$$

(2 p.)

Aaltomuodossa 1 sähkövirran muutosnopeus on vakio aikaväleillä, joilla kuvaaja on lineaarinen. Lineaarisen muutoksen derivaatta on vakio eli jännite on näillä väleillä vakio. Kuvaajan kulkusuunnan vaihtuessa jännitteen etumerkki vaihtuu. Jännitteen kuvaaja on C.

(2 p.)

Aaltomuodossa 2 sähkövirta pysyy vakiona lyhyillä aikaväleillä ja vaihtuu näiden välissä. Vakiofunktion derivaatta on nolla, joten jännite on nolla näillä aikaväleillä. Sähkövirran arvon vaihtuessa äkillisesti syntyy lyhytkestoinen induktiojännitepiikki. Jännitteen kuvaaja on A.

(2 p.)

Aaltomuodossa 3 sähkövirran kuvaaja on sinifunktio. Sinifunktion derivaatta on kosini,

$$D \sin x = \cos x,$$

joten jännitteen kuvaaja säilyttää sinifunktion muodon, mutta kuvaajassa tapahtuu vaiheen muutos. Jännitteen kuvaaja on B.

(2 p.)

6.2.

Taajuuden kasvaessa sähkövirran jaksonaika lyhenee. Tällöin myös jännitteen jaksonaika lyhenee eli jännitteen etumerkki vaihtuu useammin.

(2 p.)

Sähkövirran taajuuden kasvaessa myös sähkövirran muutosnopeus $\frac{d\mathrm{I}}{\mathrm{d}t}$ kasvaa. Toisiokäämin jännitteet ovat itseisarvoltaan suurempia.

(2 p.)

Sähkövirran amplitudin kasvaessa myös sähkövirran muutosnopeus $\frac{d\mathrm{I}}{\mathrm{d}t}$ kasvaa. Toisiokäämin jännitteet ovat itseisarvoltaan suurempia.

(2 p.)

Tehtävä 7 (15 p.)

7.1.

- Kyseessä on valosähköilmiö
- Elektronin irtoaminen metallista vaatii energiaa. Valo tuo tämän energian.
- Valo koostuu fotoneista, ja yhden fotonin energian täytyy riittää yhden elektronin irrottamiseen
- Fotoni vuorovaikuttaa elektronin kanssa niin, että fotonin energia $E = hf$ siirtyy kokonaisuudessaan yhdelle elektronille ja fotoni häviää, missä h on Planckin vakio ja f on säteilyn taajuus.
  TAI
  Säteilykvantin energian E ja aallonpituuden λ välillä on yhteys
  $$E = \frac{hc}{\lambda},$$
  joten säteilykvantin energia on sitä suurempi, mitä suurempi on taajuus tai lyhyempi on aallonpituus.
- Valon on siis oltava riittävän lyhytaaltoista / korkeataajuista, jotta valon fotonit voivat irrottaa elektroneja.

(1 p.) / pallukka

7.2.

- Elektronin törmätessä metalliin elektroni luovuttaa liike-energiaansa
- Energia voi vapautua fotonina (jarrutussäteilynä), jota syntyy elektronin ollessa hidastuvassa liikkeessä
- Jarrutus voi tapahtua eri tavoin. Vapautuu fotoneja, joilla on eri määrä energiaa eli fotoneiden aallonpituus on erilainen. Tästä syntyy jatkuvan spektrin osa.
- Elektroni voi myös luovuttaa liike-energiaansa irrottamalla jonkin kohdemetallin elektroneista
- Tällöin jokin korkeammalla energiatilalla oleva elektroni täyttää tyhjäksi jääneen paikan, ja vapautuu fotoni
- Vapautuvan fotonin energia on yhtä suuri kuin energiatilojen välinen ero. Fotonin energiaa vastaavan aallonpituuden kohdalla spektrissä nähdään piikki.

(1 p.) / pallukka

7.3.

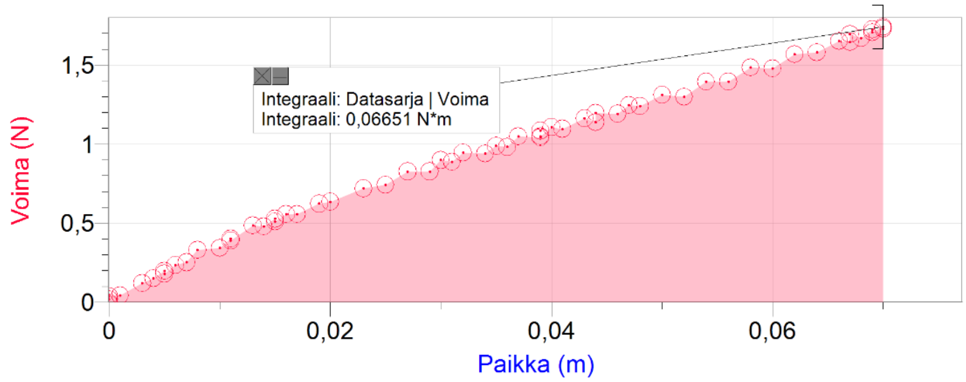
- Gammasäteily on sähkömagneettista säteilyä
- Alfa- ja beetahajoamisessa tytärydin voi jäädä virittyneeseen tilaan
- Kun virittynyt atomiydin palaa perustilaan, emittoi se säteilyä
- Ytimestä emittoituneen säteilyn aallonpituus on gammasäteilyn alueella

(1 p.) / pallukka

Tehtävä 8 (15 p.)

Puristaminen voidaan esittää paikka-voima-kuvaajana, jonka fysikaalinen integraali on puristuksessa tehty työ $W = \int F(x)dx$.

(2 p.)

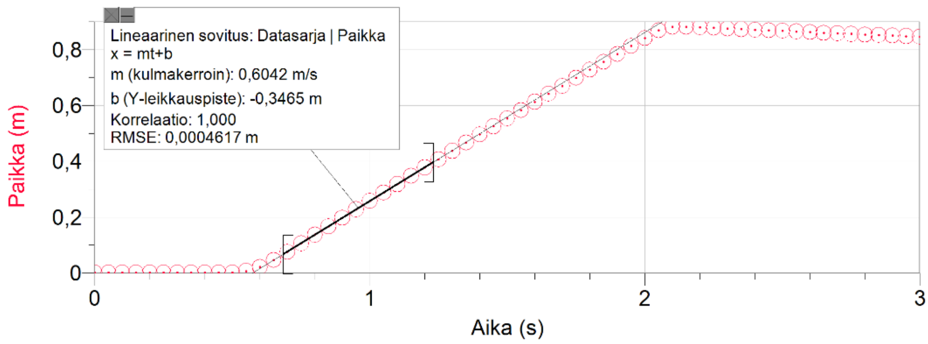


Työn suuruus on

$$W \approx 0{,}06651\ \mathrm{J}$$

(4 p.)

Vaunun nopeus saadaan paikan kuvaajan kulmakertoimena $v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$. Nopeus on 0,6042 m/s



(4 p.)

Osa jousen tekemästä työstä muuntuu vaunun liike-energiaksi. Muuntavan osan suuruutta merkitään hyötysuhteella η.

$$\eta E_{jousi} = E_k$$

(2 p.)

$$\eta W = \frac{1}{2}mv^2$$

Nyt voidaan laskea liike-energian suhde tehtyyn työhön

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 0{,}33\ \mathrm{kg} \cdot (0{,}6042\ \mathrm{m/s})^2}{0{,}06651\ \mathrm{J}} \cdot 100\% \approx 91\%$$

(3 p.)

OSA III

Tehtävä 9 (20 p.)

9.1.

Noste on seurausta esineen ylä- ja alapintaan kohdistuvasta paine-eroista.

$$F_N = p_{ala}A_{ala} - p_{ylä}A_{ylä}$$

(1 p.)

Voidaan rajoittua tarkastelemaan lieriön muotoista kappaletta, joista monimutkaisten kappaleiden voidaan ajatella koostuvan, jolloin $A_{ala} = A_{ylä} = A$.

(1 p.)

Hydrostaattinen paine nesteessä syvyydellä h

$$p = \rho g h,$$

missä ρ on nesteen tiheys.

(1 p.)

Sijoitetaan hydrostaattisen paineen määritelmä nosteen lausekkeeseen.

$$F_N = \rho g h_{ala} A - \rho g h_{ylä} A = \rho g A(h_{ala} - h_{ylä})$$

(1 p.)

Lieriön tilavuus on pohjan alan ja kappaleen korkeuden, $h_{ala} - h_{ylä}$, tulo.

$$F_N = \rho g V$$

(1 p.)

9.2.-9.3.

Pohjan alapinnan syvyys

$$92\ \mathrm{m} + 5\ \mathrm{m} = 97\ \mathrm{m}$$

Paine

$$p_a = 1\ 750\ \mathrm{kg/m^3} \cdot 9{,}81\ \mathrm{m/s^2} \cdot 97\ \mathrm{m} = 1{,}6652\ldots\mathrm{MPa} \approx 1{,}7\ \mathrm{MPa}$$

Katon yläpinnan syvyys

$$57\ \mathrm{m} - 2\ \mathrm{m} = 55\ \mathrm{m}$$

Paine

$$p_y = 1\ 750\ \mathrm{kg/m^3} \cdot 9{,}81\ \mathrm{m/s^2} \cdot 55\ \mathrm{m} = 0{,}9442\ldots\mathrm{MPa} \approx 0{,}94\ \mathrm{MPa}$$

(2 p.)

Noste on hydrostaattisten paineiden kattoon ja pohjaan kohdistamien voimien erotus.

$$F_N = Ap_a - Ap_y$$

(1 p.)

$$F_N = (53\ \mathrm{m} + 4\ \mathrm{m}) \cdot (30\ \mathrm{m} + 4\ \mathrm{m}) \cdot (1\,665\,000\ \mathrm{Pa} - 944\,000\ \mathrm{Pa})$$

$$F_N = 1{,}397 \ldots \cdot 10^9\ \mathrm{N} \approx 1{,}4\ \mathrm{GN}$$

(1 p.)

Katon ja pohjan syvyyksiä ei huomioitu maks. (2 p.)

9.3.

Noste työntää onkaloa ylös ja sen paino vetää sitä alas. Newtonin 2. lain mukaan kokonaisvoima on näiden erotus. Valitaan positiivinen suunta ylöspäin.

(1 p.)

Onkalon rakenteisiin käytetyn betonin tilavuus

$$V = 57\ \mathrm{m} \cdot 34\ \mathrm{m} \cdot 42\ \mathrm{m} - 53\ \mathrm{m} \cdot 30\ \mathrm{m} \cdot 35\ \mathrm{m} = 25\,746\ \mathrm{m}^3$$

(1 p.)

Kokonaisvoima

$$\Sigma F = F_N - G$$

(1 p.)

$$\Sigma F = F_N - mg = F_N - (m_{betoni} + m_{mittalaite})g$$

(1 p.)

$$\Sigma F = F_N - (\rho_{betoni}V + m_{mittalaite})g$$

$$\Sigma F = 1{,}40 \cdot 10^9\ \mathrm{N} - (2\,500\ \mathrm{kg/m^3} \cdot 25\,746\ \mathrm{m^3} + 7\,000\,000\ \mathrm{kg}) \cdot 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$$

$$\Sigma F \approx 7{,}0 \cdot 10^8\ \mathrm{N}$$

(2 p.)

Seinien paksuutta ei huomioitu, maks. (3 p.)

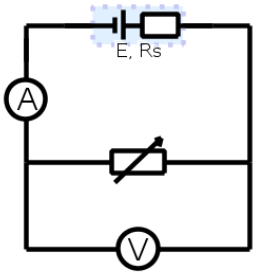
9.4.

Savimaan läpi kulkevaa kappaletta vastustava voima on paljon suurempi kuin vastusvoima esimerkiksi ilmassa tai vedessä. Savimaassa liikkuvan onkalon rajanopeus on hyvin pieni, ja onkalo kohoaa erittäin hitaasti, jos lainkaan. (2 p.)

Korkin tapauksessa rajanopeus on suuri, ja vastustava voima ei estä kiihtymistä ylöspäin ennen kuin nopeus on kasvanut merkittävästi. Vastustava voima on suurempi, koska saven tahmeutta kuvaava viskositeetti on paljon suurempi kuin esimerkiksi veden viskositeetti. (2 p.)

Tehtävä 10 (20 p.)

10.1.



Kytkentäkaavio (2 p.)

Kytketään paristo ulkoiseen vastukseen. Mitataan pariston napajännitettä *U* ja piirin sähkövirtaa *I*.

Kirchhoffin toisen lain mukaan piirin jännitteiden summa on nolla.

$$E - R_s I - U = 0$$

(2 p.)

Muutetaan säätövastuksen resistanssia. Sähkövirta ja jännite muuttuvat resistanssin muuttuessa.

Esitetään mittaustulokset (I, U)-kuvaajana. Edellä mainitun yhtälön nojalla mittaustulokset muodostavat suoran $U = E - R_s I$. Sisäinen resistanssi on suoran kulmakertoimen vastaluku.

(2 p.)

Jos sisäinen resistanssi määritetään kahden mittauspisteen avulla, maks. (5 p.)

10.2.

Sarjaankytkennässä Kirchhoffin toisen lain mukaan piirin jännitteiden summa on nolla.

$$E - R_s I - RI = 0$$

(1 p.)

Piirin sähkövirta on

$$I = \frac{E}{R_s + R}$$

(1 p.)

Ulkoisen vastuksen teho on

$$P = RI^2 = R\left(\frac{E}{R_s + R}\right)^2 = 22\ \Omega \cdot \left(\frac{12{,}3\ \mathrm{V}}{1{,}8\ \Omega + 22\ \Omega}\right)^2 \approx 5{,}9\ \mathrm{W}$$

(2 p.)

10.3.

Kytkettäessä akut sarjaan, Kirchhoffin 2. lain mukaan

$$2E - 2R_s I - RI = 0$$

Kytkettäessä akut rinnan otetaan molemmista sähkövirta I, jolloin ulkoisen vastuksen sähkövirta on $2I$. Piirin jännitteet summautuvat Kirchhoffin 2. lain mukaan seuraavasti.

$$E - R_s I - 2RI = 0$$

Yhdestä paristosta otetaan sähkövirta

$$I = \frac{E}{R_s + 2R}$$

(2 p.)

Ulkoisen vastuksen sähkövirraksi saadaan edellisten yhtälöiden nojalla.

Paristot sarjassa

$$I = \frac{2E}{2R_s + R}$$

Paristot rinnan, virta on $2I$

$$2I = \frac{2E}{R_s + 2R}$$

(2 p.)

Ulkoisen vastuksen teho voidaan laskea Joulen lain $P = RI^2$ mukaan.

Paristot sarjassa

$$P = R\frac{4E^2}{(2R_s + R)^2} = R\frac{E^2}{\left(R_s + \frac{1}{2}R\right)^2}$$

Paristot rinnan

$$P = R\frac{4E^2}{(R_s + 2R)^2} = R\frac{E^2}{\left(\frac{1}{2}R_s + R\right)^2}$$

(4 p.)

Lausekkeiden perusteella teho on suuri, kun nimittäjä on pieni.

Jos $R_s < R$, kannattaa paristot kytkeä sarjaan.

Jos $R_s > R$, kannattaa paristot kytkeä rinnan.

(2 p.)

Tehtävä 11 (20 p.)

11.1.

Hiukkasia kiihdytetään tyhjiössä. Tyhjiö luodaan metalliputkiin. Hiukkaset kulkevat metalliputkissa maan alla. (2 p.)

Sähkökenttiä tarvitaan hiukkasten kiihdyttämiseen. Sähkökentän tekemä työ muuttuu hiukkasten liike-energiaksi. (2 p.)

Magneettikenttiä tarvitaan hiukkasten ohjaamiseen ja hiukkasten niputtamiseen tiiviimmäksi kimpuksi. Hiukkasten rataa on käännettävä, jotta ne pysyvät kaarevalla radalla. Magneettikentässä varattuun hiukkaseen kohdistuu voima, joka on kohtisuorassa sen liikesuuntaan nähden. Voima muuttaa hiukkasten nopeuden suuntaa. (3 p.)

Magneetit ovat sähkömagneetteja. Voimakkaiden magneettikenttien tuottaminen vaatii suuria sähkövirtoja. Sähkövirta tuottaa lämpöä johtimen resistanssin vuoksi. Suprajohteella ei ole resistanssia. Sähkömagneetit saadaan suprajohtaviksi, kun lämpötila on lähellä absoluuttista nollapistettä. (2 p.)

11.2.

- Mainittu energian ja massan vastaavuus (1 p.)
- Mitä suurempi nopeus, sitä enemmän on liike-energiaa (1 p.)
- Mitä enemmän liike-energiaa on, sitä raskaampia hiukkasia voi syntyä. Toistaiseksi tuntemattomat hiukkaset ovat oletettavasti jo löydettyjä raskaampia. (2 p.)
  TAI
  Mitä enemmän liike-energiaa on, sitä suurempi energiatiheys törmäyksessä saavutetaan. Tällöin päästään lähemmäs alkuräjähdyksen olosuhteita ja voidaan havainnoida vuorovaikutuksia ääriolosuhteissa. (2 p.)

11.3.

Erityisen suhteellisuusteorian mukaan liike-energia kasvaa rajatta nopeuden lähestyessä valonnopeutta. Näin ollen erityisen suhteellisuusteorian mukainen liike-energia on suurempi kuin klassisen mekaniikan liike-energia.

(1 p.)

Ratkaistava yhtälö

$$\frac{1}{2}mv^2 = 0{,}99\left(\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2\right)$$

(1 p.)

Massa supistuu pois. Jakamalla valonnopeuden neliöllä ja määrittelemällä $b = \frac{v}{c}$ saadaan

$$\frac{1}{2}b^2 = 0{,}99\left(\frac{1}{\sqrt{1-b^2}} - 1\right)$$

(1 p.)

Ratkaistaan yhtälö numeerisesti

$$\text{solve}\left(\frac{1}{2}b^2 = 0.99 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-b^2}} - 1\right), b\right)$$

$$\{b=0, b=-0.1154055991, b=0.1154055991\}$$

Ratkaisuksi saadaan $b = 0{,}1154 \ldots \approx 0{,}115$

(1 p.)

Perustelematta tehty sijoitus $c = 1$, (0 p.)

Nopeuden v suuruus

$$v = b \cdot c \approx 0{,}115c$$

Nopeus on 11,5 % valonnopeudesta.

(1 p.)

Valonnopeus tyhjiössä on luonnonvakio ja suurin mahdollinen nopeus. Suuria nopeuksia on mielekästä verrata nopeuden maksimiarvoon kuin kirjoittaa niitä lukuarvoina.

(2 p.)