FYSIIKAN KOE 26.9.2014 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. kokeensuunnittelu, 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 numero–kirjain-parit ovat:

1) g 2) b 3) f 4) a 5) c 6) d

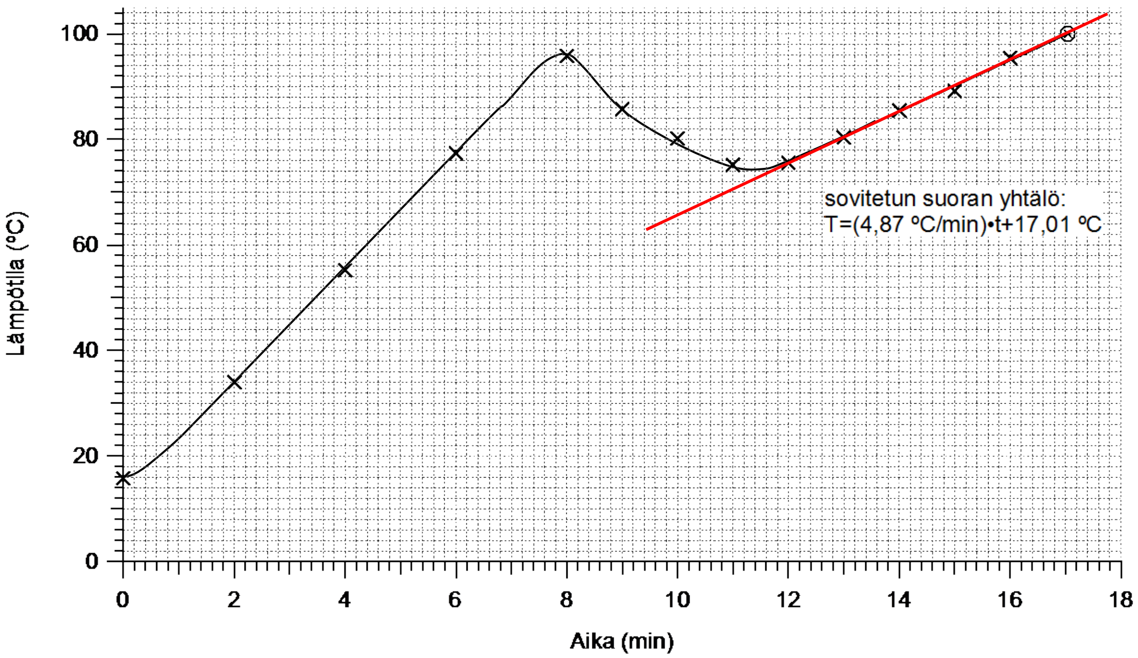
Arvioinnista:

- *Oikea numero–kirjain-pari antaa 1 p. / kohta*
- *Yhtä numeroa kohti on annettu useita kirjaimia 0 p. / kohta*
- *Jos kirjaimen sijaan on annettu sitä vastaava oikea lukuarvo, 1 p. / kohta*

Tehtävä 2

a)

3 p.



b)
Aikavälillä 8,5–10,5 min nesteen **lämpötila laskee**.
Tämä johtuu siitä, että vakiotehosta huolimatta osa keitoksen energiasta kuluu jäisten marjojen lämpötilan nostamiseen ja marjojen sulattamiseen. 1 p.

Aikavälillä 13,5–15,5 min keitoksen **lämpötila nousee**.
Tämä johtuu siitä, että kaikki marjat ovat ehtineet jo sulaa, ja vakioteholla lämmitettäessä **energiaa** tarvitaan ainoastaan **keitoksen kuumentamiseen**. 1 p.

c)
4 (tai 5) viimeiseen datapisteeseen sovitetaan laskimella suoran yhtälö tai piirretään kuvaajaan kolmio, josta määritetään suoran kulmakerroin.
Suoran yhtälöstä ratkaistaan *t* (100 °C)= 17,0 min. 1 p.
tai
Käytetään 4 tai 5 viimeistä datapistettä, joihin sovitettua suoraa jatketaan kuvaajassa, kunnes se saavuttaa 100,0 °C:n lämpötilan.
Kuvaajasta luetaan tätä vastaava ajanhetki 17,0 min.

Tehtävä 3

$T_{min} = -35{,}0\ ^\circ\text{C}$ $\quad T_0 = 22{,}0\ ^\circ\text{C}$
$T_{max} = 55{,}0\ ^\circ\text{C}$ $\quad L_0 = 15{,}00\ \text{m}$
$T_1 = 15{,}0\ ^\circ\text{C}$

a)
Teräksen pituuden lämpötilakerroin

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K}} = 12 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Kiskon pituus asennuslämpötilassa T_1 on

$$L_1 = L_0 + \Delta L = L_0 + \alpha L_0 \Delta T = L_0[1 + \alpha(T_1 - T_0)].$$ 1 p.

Ratakisko on pisimmillään maksimilämpötilassa $T_{max} = 55{,}0\ ^\circ\text{C}$.
Kahden peräkkäisen kiskon väliin on jätettävä asennuslämpötilassa lämpölaajenemisen verran rakoa:

$$\Delta L = \alpha L_1(T_{max} - T_1) = \alpha L_0(T_{max} - T_1)[1 + \alpha(T_1 - T_0)]\ .$$ 2 p.

Sijoitetaan lukuarvot saatuun yhtälöön:
$\Delta L = 12 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 15{,}00\ \text{m}\ (55{,}0\ ^\circ\text{C} - 15{,}0\ ^\circ\text{C})\left(1 + 12 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot (15{,}0\ ^\circ\text{C} - 22{,}0\ ^\circ\text{C})\right)$
$= 7{,}1993952 \cdot 10^{-3}\ \text{m} \approx 7{,}2\ \text{mm}$ 1 p.

b)
Lyhimmillään ratakisko on minimilämpötilassa $T_{min} = -35{,}0\ ^\circ\text{C}$ ja pisimmillään maksimilämpötilassa $T_{max} = 55{,}0\ ^\circ\text{C}$.

Kiskon pituus lämpötilassa $T_0 = 22{,}0\ ^\circ\text{C}$ tunnetaan. Lasketaan kiskon pituuden lyhenemä ja pitenemä vertailupituudesta 15,00 m:
$\Delta L_{lyh} = \alpha L_0(T_{min} - T_0)$
$\Delta L_{pit} = \alpha L_0(T_{max} - T_0)$

Vuoden aikana kiskon pituuden muutos on enimmillään:
$\Delta L = |\Delta L_{lyh}| + \Delta L_{pit} = -\alpha L_0(T_{min} - T_0) + \alpha L_0(T_{max} - T_0)$
$= \alpha L_0(T_{max} - T_{min})$

$$\Delta L = 12 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 15{,}00\ \text{m}\ \cdot (55{,}0\ ^\circ\text{C} - (-35{,}0)\ ^\circ\text{C}) = 0{,}0162\ \text{m} \approx 16\ \text{mm}$$ 2 p.

Arvioinnista:
a) Jos tehtävä on laskettu virheellisesti kaavalla $\Delta L = \alpha L_0(T_{max} - T_1)$ maks. 3 p.
b) Jos tehtävä on laskettu perustelematta suoraan kaavalla

$$\Delta L = \alpha L_0(T_{max} - T_{min})$$ maks. 1 p.

Tehtävä 4

a)
Kaikuluotauksessa kaikuluotain toimii sekä lähettimenä että vastaanottimena. Ensin luotain lähettää äänipulssin, joka etenee veden alla pitkittäisenä aaltona.

Kun äänipulssi kohtaa esteen, se heijastuu siitä, ja osa pulssista palaa takaisin kaikuluotaimen vastaanottimeen.

Kaikuluotain mittaa pulssin lähtö- ja paluuhetkien välisen aikaeron. 2 p.

Kaikuluotain muuntaa sen pulssin kulkemaksi matkaksi käyttämällä äänen etenemisnopeutta vedessä.

Koska pulssi kulkee luotaimen ja esteen välimatkan kaksi kertaa, etäisyys on puolet pulssin kulkemasta matkasta. 1 p.

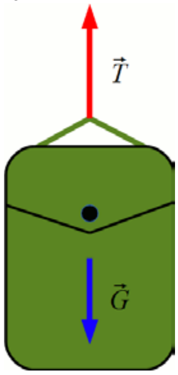
b)
Kun kohde liikkuu joko kaikuluotainta kohti tai kaikuluotaimesta poispäin, kaikuluotaimen signaalin taajuus muuttuu kohteen liikkeen vuoksi.
Tätä kutsutaan Doppler-ilmiöksi. 1 p.

Ääniaalto heijastuu kohteesta, eli kohde toimii äänen lähteenä. Kun kohde liikkuu kohti kaikuluotainta, heijastuneen ääniaallon taajuus on korkeampi kuin kaikuluotaimen taajuus. Kun taas kohde loittonee kaikuluotaimesta, heijastuneen ääniaallon taajuus on matalampi kuin kaikuluotaimen taajuus. Muuttunut taajuus riippuu sekä kohteen että havaitsijan nopeudesta.
Kaikuluotain mittaa muuttuneen taajuuden ja laskee siitä kohteen nopeuden. 1 p.

Yksinkertaisempi tapa määrittää kohteen nopeus on mitata kohteen paikka kahdella eri ajanhetkellä, jolloin saadaan kohteen tietyssä ajassa kulkema matka eli kohteen nopeus suhteessa kaikuluotaimeen $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. 1 p.

Tehtävä 5

a) 1 p.



b)
Dynamiikan peruslaki eli Newtonin II laki: $\sum \bar{F} = \bar{T} + \bar{G} = m\bar{a}$,
josta saadaan

$$T - G = m_r a,$$ 1 p.

missä m_r on repun massa ja a on hissin kiihtyvyys.

Koska kiihtyvyys on tasaista, saadaan hissin huippunopeudeksi:

$$v = at$$

$$v = \frac{T - G}{m_r} t$$

Vaaka mittaa voimaa T, mutta näyttää sellaisen kappaleen massaa m_v, jolle $T = m_v g$. 1 p.
Repun paino on $G = m_r g$.

$$v = \frac{m_v g - m_r g}{m_r} t = \left(\frac{m_v}{m_r} - 1\right) gt$$

$$= \left(\frac{5{,}31\ \mathrm{kg}}{5{,}03\ \mathrm{kg}} - 1\right) \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 11\ \mathrm{s} = 6{,}0069185\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx\ 6{,}0\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$ 1 p.

c)
Kun hissi liikkuu tasaisesti, reppuun vaikuttavat voimat ovat tasapainossa.
Tukivoima T on yhtä suuri kuin repun paino. 1 p.
Vaaka näyttää tällöin samaa massaa kuin paikallaan olevalle repulle, eli 5,03 kg. 1 p.

Tehtävä 6

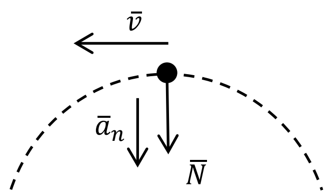
Tutkimme vahalevyn keskellä olevaan hunajatippaan vaikuttavia voimia.

Hunajatippa peittää pienen pinta-alan A, ja sen paksuus on hunajakerroksen paksuus eli $h = 15$ mm.
Tipan massa on $m = \rho A h$, missä ρ on hunajan tiheys.

Hunajatippa on ympyräliikkeessä, jonka säde on

$$r = \left(\frac{250}{2} + 15\right) \text{ mm} = 140 \text{ mm} = 0{,}140 \text{ m}.$$

Tukivoima $\overline{N}$, jolla vahalevy vaikuttaa tippaan, aiheuttaa tipan pyörimisliikkeen kiihtyvyyden. 1 p.



Newtonin II lain mukaan $\sum \overline{F} = \overline{N} = m\bar{a}_n$,
missä $\bar{a}_n$ on tipan normaalikiihtyvyys, jonka suuruus

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

jossa v on ratanopeus ja ω on kulmanopeus. 1 p.

Tästä saamme tukivoimalle lausekkeen

$$N = m\omega^2 r = \rho A h \omega^2 r.$$

Newtonin III lain mukaan tippa vaikuttaa levyyn N:n suuruisella voimalla.
Vahalevyyn vaikuttava paine p saadaan jakamalla N tipan pinta-alalla A, jolloin

$$p = \frac{N}{A} = \rho h \omega^2 r.$$ 2 p.

Tästä ratkaistaan kulmanopeus

$$\omega = \sqrt{\frac{p}{\rho h r}}.$$

Sijoitetaan lukuarvot $r = 0{,}140$ m, $h = 0{,}015$ m, hunajan tiheys $\rho = 1360 \text{ kg/m}^3$ sekä paineen yläraja $p = 3500$ Pa:

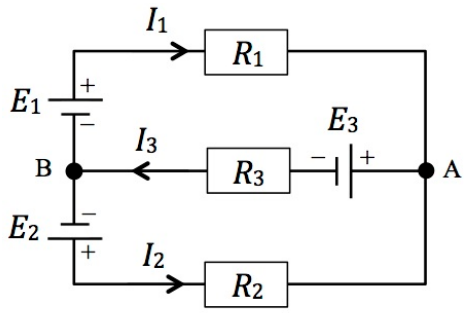
$$\omega = \sqrt{\frac{3500 \text{ Pa}}{1360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0{,}015\text{m} \cdot 0{,}140 \text{ m}}} = 35{,}0070021 \ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$ 1 p.

Eli suurin mahdollinen kulmanopeus, jolla linkoa voidaan pyörittää, on $\omega = 35{,}0070021$ rad/s. Muunnetaan tämä vielä kierrosluvuksi kertomalla luvulla $\frac{60}{2\pi}$ s/min, jolloin saadaan 334,2922 kierrosta minuutissa.

Vastaus: 330 kierrosta minuutissa 1 p.

Tehtävä 7

a)
Valitaan virtojen suunnat kuvan mukaisesti.
Kirchhoff I: $I_3 = I_1 + I_2$ (1)



Sovelletaan Kirchhoffin II lakia kahteen virtasilmukkaan ja muodostetaan yhtälöryhmät:
$E_1 - R_1 I_1 + R_2 I_2 - E_2 = 0$ (2)
$E_1 - R_1 I_1 - E_3 - R_3 I_3 = 0$ (3) 2 p.

Muokataan yhtälöitä (2) ja (3) ja lausutaan I_2 ja I_3 virran I_1 avulla:

$$I_2 = \frac{1}{R_2}(E_2 - E_1 + R_1 I_1)$$
$$I_3 = \frac{1}{R_3}(E_1 - E_3 - R_1 I_1)$$

Sijoitetaan saadut virran yhtälöt (1):een:

$$\frac{1}{R_3}(E_1 - E_3 - R_1 I_1) = I_1 + \frac{1}{R_2}(E_2 - E_1 + R_1 I_1)$$

Ratkaistaan virrat I_1, I_2 ja I_3 :

$$I_1 = \frac{E_1 - E_3 - \frac{R_3}{R_2}(E_2 - E_1)}{R_1 + R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2}} = \frac{6{,}0\text{ V} - 8{,}0\text{ V} - \frac{3{,}0\ \Omega}{4{,}0\ \Omega}(12{,}0\text{ V} - 6{,}0\text{ V})}{2{,}0\ \Omega + 3{,}0\ \Omega + \frac{2{,}0\ \Omega \cdot 3{,}0\ \Omega}{4{,}0\ \Omega}} = -1{,}0\text{ A}$$
$$I_2 = \frac{12{,}0\text{ V} - 6{,}0\text{ V} + 2{,}0\ \Omega \cdot (-1{,}0\text{ A})}{4{,}0\ \Omega} = 1{,}0\text{ A}$$
$$I_3 = 1{,}0\text{ A} - 1{,}0\text{ A} = 0\text{ A}$$ 1 p.

Ulkopiirissä vastuksien 1 ja 2 läpi kulkee 1,0 A:n virta vastapäivään. Keskijohdossa vastuksen 3 läpi ei kulje virtaa. 1 p.

b)
Koska vastuksen 3 läpi ei kulje virtaa, jännite pisteiden A ja B välillä on sama kuin jännitelähteen 3 lähdejännite $E_3 = 8{,}0$ V. 1 p.
Jännite ei muutu, vaikka piste B maadoitetaan. Maadoitus asettaa pisteen B potentiaalin arvoksi 0 V, mutta se ei vaikuta potentiaalieroon pisteiden A ja B välillä. 1 p.

Tehtävä 8

a)
Sauvamagneetin magneettikenttä on käämin kohdalla vaakasuorassa.
Magneettikenttä pyörii magneetin mukana. Tällöin käämin läpäisevä magneettivuo muuttuu. 1 p.

Käämiin syntyy induktiolain $U = -N \cdot \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$ mukainen vaihtojännite. 1 p.

b)
Käämin läpäisevä magneettivuo $\Phi = BA\cos\varphi = BA\cos(\omega t)$, jossa φ on magneettikentän ja käämin akselin välinen kulma ja ω on magneetin pyörimisen kulmanopeus.

$U = -N \cdot \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = NAB \cdot \omega \sin(\omega t) = NAB\omega \sin\varphi$
$-1 \leq \sin\varphi \leq 1$, joten jännitteen maksimiarvo $|U|_{max} = NAB\omega$.

Kuvaajasta määritettynä $|U|_{max} = 16{,}5\ \mathrm{mV}$. 1 p.

Luetaan kuvaajasta viiden jakson aika, ja määritetään jaksonaika
$T = \frac{1{,}06\ \mathrm{s}}{5} = 0{,}212\ \mathrm{s}$, josta $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0{,}212\ \mathrm{s}} = 29{,}637667\ \mathrm{s}^{-1}$.

$$B = \frac{|U|_{max}}{NA\omega} = \frac{0{,}0165\ \mathrm{V}}{300 \cdot (0{,}042\ \mathrm{m})^2 \cdot 29{,}637667\ \mathrm{s}^{-1}} = 0{,}00105201\ \mathrm{T} \approx 1{,}1\ \mathrm{mT}$$ 1 p.

c)
Käämin navoista mitattu jännite on $U = NAB\omega \sin\varphi$.

i) $|U|$ saavuttaa maksimiarvonsa, kun $\sin\varphi = \pm 1$, eli $\varphi = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi, n = 0{,}1{,}2 \ldots$. Tämä vastaa kuvaa C.

ii) $U = 0$, kun $\sin\varphi = 0$, eli $\varphi = n\pi, n = 0{,}1{,}2 \ldots$ Tämä vastaa kuvaa A. 2 p.

Tehtävä 9

a)
Ydinfuusiossa ytimet yhtyvät toistensa kanssa. 1 p.

Aurinko tuottaa energiansa fuusioimalla vetyä heliumiksi, mikä on elämän keskeinen edellytys maapallolla.

Fuusiolla on ollut keskeinen merkitys maailmankaikkeuden vetyä raskaampien alkuaineiden synnyssä. 1 p.

b)
Kevyiden ydinten fuusioituessa energiaa vapautuu, koska ytimien **sidososuus kasvaa** kevyemmistä ytimistä raskaampiin ytimiin rautaan asti. 1 p.

Sen sijaan siirryttäessä raudasta raskaisiin ytimiin **sidososuus pienenee**, eli fuusioon tarvitaan energiaa. 1 p.

c)
Deuterium–tritium-reaktioyhtälö: ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$ 1 p.

Reaktiossa vapautuva energia saadaan massavajeen avulla:

$$Q = (m_{\mathrm{H-2}} + m_{\mathrm{H-3}} - m_{\mathrm{He}} - m_{\mathrm{n}})c^2$$
$$Q = (2{,}0141018 + 3{,}0160493 - 4{,}0026033 - 1{,}0086650)\mathrm{u} \cdot 931{,}49432\ \frac{\mathrm{MeV}}{\mathrm{u}}$$
$$= 17{,}589221\ \mathrm{MeV} = 2{,}8181036\ \mathrm{pJ}$$

1 p.

Tehtävä 10

a)
Ratkaistaan vaijerissa vaikuttava jännitysvoima juuri ennen kuin kivi lähtee liikkeelle, jolloin jännitysvoima on suurin mahdollinen.

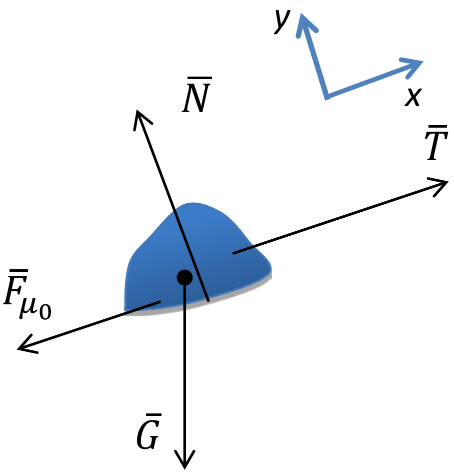
Juuri ennen kuin kivi lähtee liikkeelle, kiveen vaikuttaa täysin kehittynyt lepokitka $F_{\mu_0} = \mu_0 N$. Tällöin vaijerin jännitysvoima T on suurimmillaan.

Kiveen vaikuttavat voimat ovat tasapainossa, jolloin Newtonin II lain mukaan:

$$\begin{cases} \sum \bar{F}_x = \bar{T} + \bar{G}_x + \bar{F}_{\mu_0} = 0 \\ \sum \bar{F}_y = \bar{N} + \bar{G}_y = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T - G_x - F_{\mu_0} = 0 \\ N - G_y = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = G_x + F_{\mu_0} = mg \sin 5{,}0° + \mu_0 N \\ N = G_y = mg \cos 5{,}0° \end{cases}$$



Kuva 1 p.

1 p.

Suurin vaijerissa vaikuttava jännitysvoima on

$$T = mg(\sin 5{,}0° + \mu_0 \cos 5{,}0°)$$

$$T = 450\ \text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}(\sin 5{,}0° + 0{,}70 \cos 5{,}0°) = 3463{,}140073\ \text{N} \approx 3500\ \text{N}$$

Yksi teräslanka kestää jännitysvoiman $T = 78\ \text{N}$.
Teräslankoja tarvitaan siis vähintään $\frac{3463{,}140073\ \text{N}}{78\ \text{N}} = 44{,}39923171 \approx 45$ lankaa.

1 p.

Vinssiin voidaan valita vaijeri, jossa on 49 tai 133 lankaa.

b)
Kiveä siirretään vakionopeudella

$$v = 4{,}6\,\frac{\text{m}}{\text{min}} = 0{,}07666\ldots\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Tällöin kiven siirtoon kuluva aika

$$t = \frac{s}{v}.$$

Vinssi tekee työtä liikekitkaa ja kiven painoa vastaan. Voima on vakio. Kivi nousee siirron aikana lähtöpisteestään korkeudelle $h = s \cdot \sin 5{,}0°$.

$$W = F_\mu \cdot s + mgh = \mu N \cdot s + mgh = mgs(\mu \cos 5{,}0° + \sin 5{,}0°)$$

1 p.

Teho, jolla vinssi tekee työtä, on

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgs}{t}(\mu \cos 5{,}0° + \sin 5{,}0°) = mgv(\mu \cos 5{,}0° + \sin 5{,}0°)$$ 1 p.

$$P = 450\ \mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 0{,}07666\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}(0{,}30 \cdot \cos 5{,}0° + \sin 5{,}0°)$$
$$= 130{,}64456\ \mathrm{W} \approx 130\ \mathrm{W}$$
1 p.

Vaihtoehtoinen ratkaisu:

Kiveä siirretään vakionopeudella

Vinssi tekee työtä liikekitkaa ja kiven painoa vastaan. Voima on vakio.
$T = F_\mu + mg\sin 5{,}0° = \mu N + mg\sin 5{,}0° = mg(\mu\cos 5{,}0° + \sin 5{,}0°)$ 1 p.

Teho, jolla vinssi tekee työtä, on
$P = Tv = mgv(\mu\cos 5{,}0° + \sin 5{,}0°)$ 1 p.
$P = 450\ \mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 0{,}07666\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}(0{,}30 \cdot \cos 5{,}0° + \sin 5{,}0°)$
$= 130{,}64456\ \mathrm{W} \approx 130\ \mathrm{W}$
1 p.

Tehtävä 11

a)
Lähteiden synnyttämät aallot interferoivat keskenään. 1 p.

Aaltoliike on voimakasta siellä, missä vaaleat ja tummat kohdat vuorottelevat. Näissä kohdissa **lähteiden synnyttämät aaltoliikkeet ovat samassa vaiheessa**, eli aaltojen huiput osuvat päällekkäin, samoin pohjat. **Näin tapahtuu kuvion pisteissä, joista lähteisiin mitattujen etäisyyksien erotus on kokonainen monikerta aallonpituuksia:**
$\Delta d = N \cdot \lambda, N = 0,1,2 \ldots$ 1 p.
Tätä kutsutaan konstruktiiviseksi interferenssiksi, ja vastaavia kohtia maksimeiksi.

Harmaiden juovien esittämissä kohdissa vesi ei aaltoile. Niissä **aaltoliikkeet ovat vastakkaisessa vaiheessa**, eli yhden lähteen aallon pohja ja toisen lähteen aallon huippu osuvat päällekkäin. Tällöin aaltoliikkeet sammuttavat toisensa. **Näin tapahtuu pisteissä, joista lähteisiin mitattujen etäisyyksien erotus on pariton monikerta aallonpituuden puolikkaita:** 1 p.
$\Delta d = (2N + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, N = 0,1,2 \ldots$
Tätä kutsutaan destruktiiviseksi interferenssiksi ja vastaavia kohtia minimeiksi. Aallot sammuttavat toisensa täysin vain, mikäli aaltojen amplitudit ovat yhtä suuret.

Koska amplitudi pienenee etäisyyden kasvaessa, destruktiivinen interferenssi on epätäydellinen pisteissä, joissa etäisyysero lähteisiin saa aikaan huomattavan eron aaltojen amplitudeihin.

b)
Kun taajuus kaksinkertaistetaan, aallonpituus $\lambda = vf$ lyhenee puoleen, koska aaltoliikkeen nopeus oletetaan vakioksi. Tällöin aaltojen etenemissuunnassa aallon huippujen ja pohjien välimatka lyhenee.

Konstruktiiviset ja destruktiiviset interferenssit toteutuvat pienemmillä matkaeroilla kuin kuvassa.

1., 2. jne. kertaluvun minimit ja maksimit siirtyvät lähemmäs 0. kertaluvun maksimia, joka pysyy paikallaan, eli kuvan viuhkamainen rakenne tiivistyy. 2 p.

c)
Kun värähtelijät ovat vastakkaisessa vaiheessa, aaltoliikkeet ovat samassa vaiheessa ja vahvistavat toisiaan pisteissä, joissa aaltojen matkaero on pariton monikerta aallonpituuden puolikkaita.

Vastaavasti aaltoliikkeet ovat vastakkaisessa vaiheessa ja heikentävät toisiaan, kun matkaero on aallonpituuden kokonaislukumonikerta.

Eli kuvaan verrattuna kuvion minimit muuttuvat maksimeiksi ja maksimit minimeiksi. 1 p.

Tehtävä +12

a)
Radioaktiivisen jätteen tekee ongelmalliseksi se, että jäte säteilee ympäristöön. Säteily on vaarallista sekä ihmiselle että luonnolle.
Radioaktiivisen aineen vaarallisuuteen vaikuttavia fysikaalisia ominaisuuksia ovat mm.:

- aineen aktiivisuus. Jätteen aktiivisuus kertoo siitä, kuinka paljon hajoamisia jätteessä tapahtuu aikayksikössä.
- aineen puoliintumisaika. Mitä pidempi radioaktiivisen ytimen puoliintumisaika on, sitä hitaammin jätteen aktiivisuus laskee. Aineella, jonka puoliintumisaika on lyhyt, aktiivisuus laskee nopeasti.
- säteilylajit, joita jäte säteilee. Radioaktiivinen jäte voi säteillä α-, β-, röntgen- ja γ-säteilyä. Hiukkassäteilylajit, α- ja β-säteily, pystyvät tunkeutumaan heikosti aineessa, kun taas sähkömagneettinen röntgen- ja γ-säteily pystyvät tunkeutumaan syvemmälle aineeseen.
- radioaktiivisessa hajoamisessa vapautuvan energian suuruus. Suurempienerginen säteily tunkeutuu syvemmälle ja pystyy aiheuttamaan enemmän tuhoja.
- säteilyn määrä, joka pääsee radioaktiivisesta jätteestä ympäristöön. Osa säteilystä absorboituu jätteeseen itseensä, mikä voi näkyä jätteen kuumenemisena.
- radioaktiivisen aineen kyky aiheuttaa ihmiselle säteilyaltistus. Tätä mitataan yleensä säteilyannoksen suuruutena aktiivisuutta kohti (Sv/Bq).
- radioaktiivisen aineen kulkeutumistapa ihmiskehoon. Radioaktiivinen aines voi kulkeutua kehoon joko ruuan mukana tai hengityksessä. Mitä helpommin aine kulkeutuu kehoon, sitä suuremman uhkan se aiheuttaa ihmiselle.
- radioaktiivisen aineen viipymisaika kehossa. Jos aine kertyy helposti kehoon, se aiheuttaa suuremman vaaran, kuin jos aine kulkeutuu kehosta pois luonnollisilla tavoilla.
- radioaktiivisen jätteen olomuoto. Kaasumaiset aineet vapautuvat helposti ja kulkeutuvat hengitysilmaan. Nestemäinen jäte puolestaan voi vuotaa vesistöihin. Kiinteä jäte on näistä turvallisin.
- jätteen liikkuvuus. Jos radioaktiivinen aine kiinnittyy huonosti kiinteän aineen pinnalle ja liukenee helposti veteen, on aineen liikkuvuus hyvä, ja silloin se kulkeutuu helpommin luontoon, kuin jos se tarttuisi kiinteän aineen pinnalle.
- jätteen palavuus ja höyrystyvyys. Jos kiinteä tai nestemäinen radioaktiivinen jäte on palavaa tai höyrystyvää, se voi tulipalossa muuttua kaasumaiseksi tai aerosoliksi.
- fissiilisyys. Ominaisuus hajota ydinketjureaktioilla. Ydinketjureaktiot voivat olla hallitsemattomia.

1 p. / kohta, maks. 5 p.

b)
Biologinen näkökulma:
Ionisoiva säteily voi aiheuttaa välittömiä vaurioita, kuten kudosvaurioita, jotka aiheutuvat laajasta solutuhosta. Säteily voi siis tappaa soluja. Erityisesti iho-, limakalvon ja luuytimen solut vaurioituvat herkästi altistuessaan suurelle säteilyannokselle. Säteilysairaus on hengenvaarallinen tila, joka seuraa suuresta äkillisestä koko kehon säteilyaltistuksesta. Ionisoiva säteily voi aiheuttaa myös ihon palovammoja ja sikiövaurioita.

Lisäksi ionisoivalla säteilyllä on satunnaisia vaikutuksia, jotka eivät tule näkyviin välittömästi altistuksen jälkeen. Satunnaiset vaikutukset ovat perimämuutoksia solutasolla, mikä voi johtaa syöpään tai aiheuttaa perillisille geenimutaatioita. Ionisoivan säteilyn hiukkanen tai fotoni voi aiheuttaa DNA-molekyylin katkeamisen solussa.

Ydinjätteen loppusijoitusta voidaan tarkastella yhteiskunnallisesta, geologisesta ja kemiallisesta näkökulmasta:
Koska jätettä tulee paljon ydinvoimaloiden polttoaineesta, sen varastoiminen ja loppusijoitus ovat ongelmallisia. Radioaktiivinen jäte on aktiivista vielä pitkän ajan kuluttua sen jälkeen, kun polttoaineniput on poistettu reaktorista. Korkea-aktiivinen jäte jäähdytetään ensin välivarastoissa ennen lopullista sijoittamista peruskallioon. Loppusijoituspaikalle asetetaan tiettyjä vaatimuksia, joita ovat mm. seuraavat:

- Ydinjätteen loppusijoituksesta ei saa aiheutua ihmisen terveyttä vaarantavia säteilyhaittoja eikä muutakaan vahinkoa ympäristölle ja omaisuudelle. Loppusijoitus ei tulevaisuudessakaan saa aiheuttaa sellaisia terveys- tai ympäristöhaittoja, jotka ylittäisivät nykyisin hyväksyttävän enimmäistason.
- Loppusijoitukseen sopivan kallioperäalueen on oltava riittävän suuri, vakaa ja tiivis. Kallioperässä ei saa olla vettä johtavia kallionrakoja. Loppusijoitustiloihin ei saa syntyä suuria kalliosiirroksia kallioperän jännitystilojen purkautuessa.
- Pohjaveden virtausten on oltava vähäisiä, ja pohjaveden kemiallisten ominaisuuksien, kuten suolaisuuden ja korroosioon vaikuttavien ainesosien pitoisuuksien, on oltava kuparikapselin ja bentoniittisaven säilyvyyksien kannalta suotuisat.
- Loppusijoitus on suunniteltava ja toteutettava siten, että sen turvallisuutta ei tarvitse valvoa sen jälkeen kun loppusijoitustilat on suljettu. Loppusijoituskapselit on kuitenkin tarvittaessa voitava poistaa loppusijoitustiloista niiden sulkemisen jälkeenkin. Voi olla, että tulevaisuudessa keksitään keino käyttää radioaktiivista jätettä energian tuotossa, jolloin jätteen on oltava saavutettavissa.

Koska jäte on aktiivista vielä tuhansien vuosien päästäkin, täytyy loppusijoituspaikat merkitä siten, että tulevaisuudessakin ihmiset ymmärtävät, mitä kallion sisään on varastoitu.

1–4 p. / näkökulma, maks. 4 p.

Kokelas voi tarkastella myös muista näkökulmista ydinjätteen ongelmallisuutta.

Tehtävä +13

a)
Lämpötila-asteikon kiinnittämiseen tarvitaan kaksi peruspistettä. 1 p.

Mitataan kaasulämpömittarilla useiden kaasujen painetta varioiden lämpötilaa (mittaus celsius-asteina). Havaitaan, että jokaisella kaasulla mittauspisteet osuvat (t, p)-koordinaatistossa suoralle ja kaikkien kaasujen suorat leikkaavat pisteessä $p = 0$, $t = -273{,}15$ °C. Tämä on ilmeisesti matalin mahdollinen lämpötila. Valitaan se absoluuttisen lämpötila-asteikon eli kelvinasteikon ensimmäiseksi peruspisteeksi, jossa lämpötila on 0 K.

1 p.

Toiseksi peruspisteeksi valitaan veden kolmoispiste, jossa vesihöyry, nestemäinen vesi ja jää ovat tasapainossa lämpötilassa $0{,}01$ °C. Kolmoispisteen absoluuttiseksi lämpötilaksi määritellään 273,16 K. Nyt kaasulämpömittarilla voidaan mitata tuntematon absoluuttinen lämpötila. Mitataan kaasun paine p_3 veden kolmoispisteessä ja kaasun paine p_x mitattavassa lämpötilassa, joka on

$$T_x = 273{,}16\ \mathrm{K} \cdot \frac{p_\mathrm{x}}{P_3},$$

kun paine p_3 lähestyy nollaa. Tällöin mittaustulos ei riipu käytettävästä kaasusta.

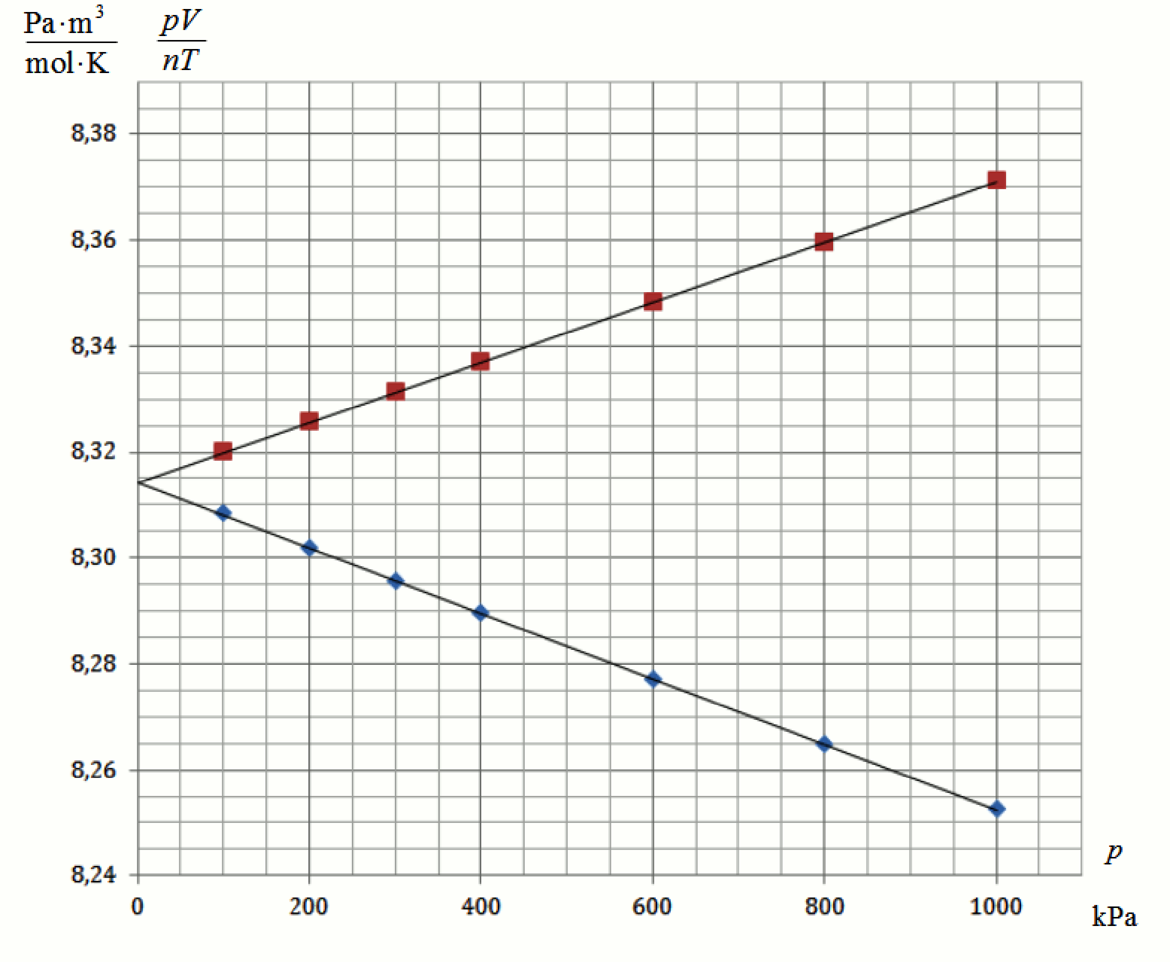
1 p.

b)
Kaasut eivät noudata ideaalikaasulakia, joten kaasuvakiota ei voi laskea yksittäisistä mittauspisteistä.

Kaasut noudattavat ideaalikaasulakia sitä paremmin, mitä pienempi paine ja mitä korkeampi lämpötila on. Kokeessa lämpötila oli vakio.

1 p.

Ideaalikaasun tilanyhtälö $pV = nRT$, joten $R = \frac{pV}{nT}$. 1 p.



kuva 1 p.

Määritetään graafisesti, mitä arvoa suhde $\frac{pV}{nT}$ lähestyy, kun paine lähestyy nollaa.
Tätä varten piirretään taulukon arvojen perusteella $\left(p, \frac{pV}{nT}\right)$-kuvaajat kummallekin kaasulle.

Kummankin kaasun pisteisiin sovitetut suorat leikkaavat, kun $p = 0$. Suoransovituksilla saadaan suorien vakiokertoimiksi

$R_{N_2} = (8{,}3141 \pm 0{,}0001)\ \frac{\mathrm{Pa \cdot m^3}}{\mathrm{mol \cdot K}}$ ja $R_{H_2} = (8{,}31433 \pm 0{,}00004)\ \frac{\mathrm{Pa \cdot m^3}}{\mathrm{mol \cdot K}}$. 1 p.

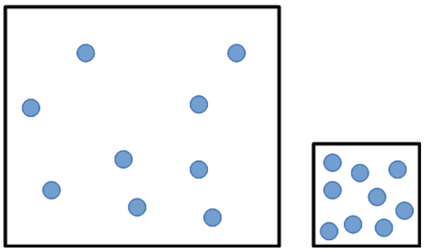
keskiarvo $R = 8{,}3142\ \frac{\mathrm{Pa \cdot m^3}}{\mathrm{mol \cdot K}}$

Kirjallisuusarvo on $= 8{,}314510\ \frac{\mathrm{Pa \cdot m^3}}{\mathrm{mol \cdot K}}$ (MAOL).

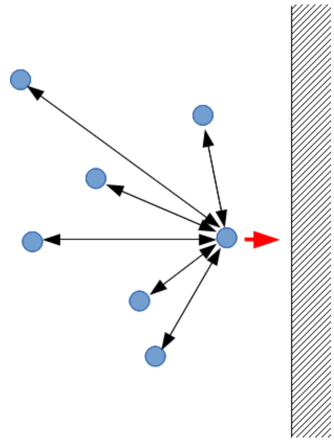
c)

Ideaalikaasulla $\left(p, \frac{pV}{nT}\right)$-kuvaaja olisi vaakasuora.

Vedyllä tulo pV kasvaa kun paine kasvaa (kokeessa nT pysyy vakiona). Tämä selittyy sillä, että todellinen tilavuus, jossa molekyylit pääsevät liikkumaan, on pienempi kuin astian tilavuus V, koska molekyylien oma tilavuus vie astian tilavuudesta sitä suuremman osan, mitä pienempi astia on. Näin ollen suhteen $\frac{pV}{nT}$ laskemisessa käytetty tilavuus on liian suuri. Vedyllä siis reaalikaasun molekyylien nollaa suurempi tilavuus aiheuttaa suuremman poikkeaman ideaalikaasumallista.



Typellä tulo pV pienenee, kun paine kasvaa. Tilavuuden pienentyessä molekyylit joutuvat lähemmäs toisiaan, jolloin niiden välinen attraktiivinen vuorovaikutus tulee merkittäväksi. Paine aiheutuu molekyylien törmäyksistä astian seinämiin. Juuri seinämään törmäämässä oleva molekyyli kokee aivan seinämän vieressä vetävän vuorovaikutuksen vain kauempana seinämästä olevien molekyylien kanssa, joten kokonaisvoima suuntautuu poispäin seinästä ja molekyyli hidastuu juuri ennen törmäystä. Tämä pienentää painetta. Siispä typellä molekyylien välinen attraktiivinen vuorovaikutus aiheuttaa suuremman poikkeaman ideaalikaasumallista.



2 p.