

5. Newtonin lait

Tehtävät

Harjoittele

Tehtävä 5.1.

a) C

b) C

c) D

d) C

e) C

f) B

g) C

Tehtävä 5.2.

- a) Painovoima on gravitaatiovuorovaikutuksen aiheuttama voima.

- b) Hiukset hylkivät toisiaan, koska hiuksissa on kauttaaltaan sama varaus. Samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan. Varausten väliset voimat ovat sähkömagneettisen vuorovaikutuksen aiheuttamia.

- c) Juomalasi pysyy kädessä ihon ja lasin pinnan kitkan vaikutuksesta. Kitkavoima on sähkömagneettisen vuorovaikutuksen aiheuttama.

Tehtävä 5.3.

- a) Renkaan ja tienpinnan välinen kitkavoima pysäyttää auton liikkeen. Kitka on liikkeen suuntaan nähden vastakkainen.

- b) Laskuvarjohyppääjään vaikuttavat painovoima ja ilmanvastus. Voimat ovat yhtä suuret mutta vastakkaissuuntaiset.

- c) Veneeseen vaikuttaa painovoima ja veden noste. Voimat ovat yhtä suuret mutta vastakkaissuuntaiset.

- d) Polkupyöräilijään vaikuttaa painovoima, tien pinnan tukivoima, ilmanvastus, vierimisvastus ja kitka. Kokonaisvoiman suunta on sama kuin kiihtyvyyden suunta. Kitkan suunta on kiihtyvyyden suuntaan.

- e) Pulkkaan vaikuttaa painovoima, maan tukivoima, kitka ja narun jännitysvoima. Koska pulkka liikkuu vakionopeudella, pulkkaan vaikuttava kokonaisvoima on nolla.

Tehtävä 5.4.

- a) Kuun gravitaatiovoima vetää Maata puoleensa.

- b) Kirja aiheuttaa tukivoiman kohti pöydän pintaa.

- c) Jalka aiheuttaa kitkavoiman lattiaan. Jalan lattiaan aiheuttama kitkavoima on ihmisen liikkeen suunnalle vastakkainen.

Tehtävä 5.5.

a) Painon suuruuteen vaikuttavat kappaleen massa ja putoamiskiihtyvyyden arvo. Putoamiskiihtyvyyden arvo pienenee, kun etäisyys Maan pinnasta kasvaa.

b) Talitiaisen massa $m = 16 \text{ g}$

Putoamiskiihtyvyys $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Talitiaisen paino

$$G = mg = 0,016\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 0,15696\text{N} \approx 0,16\text{N}.$$

Tehtävä 5.6.

Kuukiven massa $m = 3,6 \text{ kg}$

Putoamiskiihtyvyys Kuussa $g = 1,622 \text{ m/s}^2$

Putoamiskiihtyvyys Maassa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

a) Kuukiven paino Kuussa

$$G = mg = 3,6 \text{ kg} \cdot 1,622 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5,8392 \text{ N} \approx 5,8 \text{ N}.$$

b) Kuukiven paino Maassa

$$G = mg = 3,6 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 35,316 \text{ N} \approx 35 \text{ N}.$$

Tehtävä 5.7.

Polkupyöräilijän massa $m = 68 \text{ kg}$

Pyöräilijän kiihtyvyys $a = 1,1 \text{ m/s}^2$

a) Kokonaisvoima aiheuttaa kiihtyvyyden. Kokonaisvoiman suunta on sama kuin kiihtyvyyden suunta. Tässä tilanteessa kokonaisvoima on yhtä suuri kuin kitkavoima. Kitka aiheuttaa pyörän kiihtyvyyden.

b) Kokonaisvoima voidaan laskea yhtälöstä

$$\sum F = ma = 68\text{kg} \cdot 1,1\text{m/s}^2 = 74,8\text{N} \approx 75\text{N}.$$

Sovella

Tehtävä 5.8.

Massan hitaus ilmenee esimerkiksi, kun bussin jarruttaessa matkustajat pyrkivät jatkamaan liikettään. Matkustaja heilahtavat jarrutuksen aikana eteenpäin. Vastaavasti kiihdytyksen aikana matkustajat nojautuvat taaksepäin. Massan hitaus näkyy myös siinä, että liikennevaloista liikkeelle lähtevän bussin kiihtyvyys on pieni.

Tehtävä 5.9.

Liikkeen jatkuvuuden laki tarkoittaa, että kappale jatkaa liikettään, jos siihen vaikuttavien voimien summa on nolla.

Esimerkiksi turvavyöt ja turvatyyny estävät tai pehmentävät törmäystilanteissa kuljettajan tai matkustajan osumista auton rakenteisiin.

Peräänajotilanteissa istuimen niskatuki ehkäisee niskan alueelle tulevia vammoja. Autossa olevat erilaiset lokerot ja tavaratilan kiinnitysratkaisut estävät tavaroiden sinkoutumisen ihmisten päälle kovissa jarrutuksissa ja törmäyksissä.

Esimerkiksi: turvavyöt, niskatuet, turvatyyny, kuormansidontaverkot tavaratilassa, törmäyksessä kokoon painuvat osat auton rakenteissa.

Tehtävä 5.10.

Kun SUP-laudalta ponnistetaan veteen, lautaan ja lautailijaan kohdistuu yhtä suuret, mutta vastakkaisuuntaiset voimat Newtonin III lain mukaisesti. Tilanteessa voimat ovat yhtä suuret, mutta voimien vaikutukset eivät ole samanlaiset, koska laudan ja hyppääjän massat ovat erilaiset. Newtonin II lain mukaan voima aiheuttaa kiihtyvyyden niin, että $\Sigma F = ma$. Koska SUP-lauta on kevyempi kuin lautailija, SUP-lauta saa suuremman kiihtyvyyden.

Tehtävä 5.11.

- a) Kun hissin vaijeri pysähtyy, hissin tuoli ja matkustajat pyrkivät säilyttämään liiketilansa ja jatkavat liikettään. Tuoli heilahtaa eteenpäin.

- b) Kädessä olevan mukin liiketila voi muuttua nopeasti kävelyn aikana. Mukissa juoma pyrkii säilyttämään liiketilaansa, ja osa kahvista voi läikkyä reunan yli.

- c) Laatikossa olevat ruokailuvälineet pyrkivät säilyttämään liiketilansa eli ne pyrkivät pysymään paikoillaan. Laatikon ja ruokailuvälineiden kitka ei ole riittävän suuri pitämään ruokailuvälineitä laatikon mukana.

Tehtävä 5.12.

- a) Käden tukivoiman vastavoima on auton käteen kohdistama tukivoima.

- b) Newtonin III lain eli voiman ja vastavoiman lain mukaisesti voimat ovat yhtä suuret mutta vastakkaissuuntaiset, ja ne kohdistuvat eri kappaleisiin.

- c) Voiman ja vastavoiman lain mukaisesti voimat ovat yhtä suuret. Vaikka auto on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä, niin auton käteen kohdistama tukivoima on yhtä suuri kuin käden autoon kohdistama tukivoima.

Tehtävä 5.13.

Kuukiven massa $m = 1,2 \text{ kg}$

Putoamiskiihtyvyys Kuussa $g = 1,622 \text{ m/s}^2$

Putoamiskiihtyvyys Maassa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Kuukiven paino kuussa

$$G = mg = 1,2 \text{ kg} \cdot 1,622 \text{ m/s}^2 = 1,9464 \text{ N} \approx 1,95 \text{ N}.$$

Kuumönkijä tuottaa yhtä suuren voiman Maassa ja Kuussa. Tällä voimalla voidaan nostaa punnus, jonka massa on

$$G = mg$$

$$m = \frac{G}{g} = \frac{1,9464 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 0,1984 \text{ kg} \approx 198 \text{ g}.$$

Tehtävä 5.14.

- a) Lattian tukivoima on suurempi kuin opiskelijan paino.
- b) Lattian tukivoima on yhtä suuri kuin opiskelijan paino.
- c) Opiskelijan paino on suurempi kuin lattian tukivoima.
- d) Tukivoima on suurempi kuin opiskelijan paino.

Tehtävä 5.15.

- a) Auto on kiihtyvässä liikkeessä eteenpäin eli autolla kiihdytetään. Jatkavuuden lain mukaisesti puhelin pyrkii säilyttämään liiketilansa ja liukuu taaksepäin.

- b) Auto on kiihtyvässä liikkeessä taaksepäin eli autolla jarrutetaan. Jatkavuuden lain mukaisesti puhelin pyrkii säilyttämään liiketilansa ja liukuu eteenpäin.

- c) Auto on pysähtynyt tai kulkee vakionopeudella. Jatkavuuden lain mukaisesti puhelin pyrkii säilyttämään liiketilansa ja pysyy paikoillaan.

Tehtävä 5.16.

Autoon vaikuttavat voimat aiheuttavat liikkeen. Kaverukset kohdistavat autoon tietyn suuruisen kosketusvoiman ja ponnistavat maasta eteenpäin. Kitka tien ja jalkojen välillä estää kaverusten kenkiä sutimasta, joten tien ja kenkien välinen kitka liikuttaa autoa.

Tehtävä 5.17.

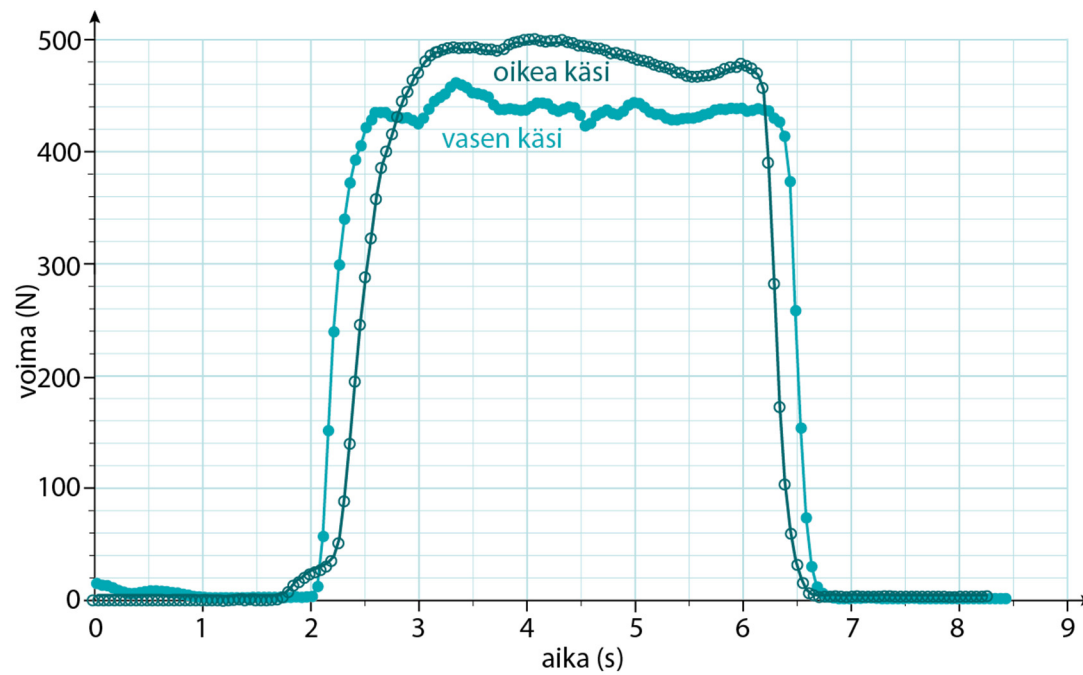
- a) Opiskelija pysyy molemmissa tilanteissa paikoillaan, joten vaikuttavan kokonaisvoiman suuruus on molemmissa tilanteissa $\sum F = 0$.
- b) Molemmissa tilanteissa opiskelijaan vaikuttaa samansuuruiset voimat. Tilanteessa 1 narusta vedetään 200 N:n voimalla. Koska opiskelija pysyy paikallaan, toiseen käteen sidotun narun tukivoima on 200 N. Tilanteessa 2 kahvan tukivoima on 200 N. Lisäksi opiskelijan paino ja lattian tukivoima ovat samat tilanteissa 1 ja 2.

Tehtävä 5.18.

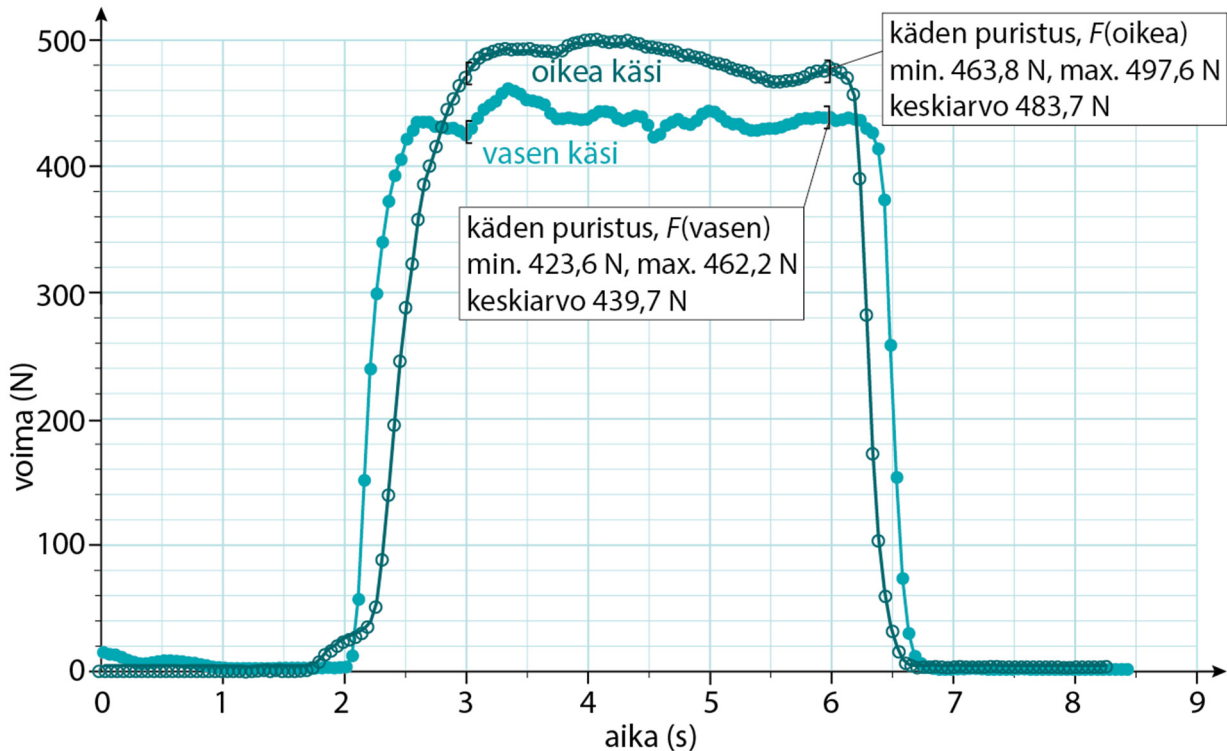
Käsien aiheuttama tukivoima suuntautuu ylöspäin. Se kannattelee kakun ja juomien painoa. Narussa vaikuttaa jännitysvoima, joka on yhtä suuri kuin pullojen paino. Jos naru katkeaa, jännitysvoima häviää yllättäen. Pullot alkavat pudota kohti lattiaa. Käsiin kohdistuva kokonaisvoima muuttuu nopeasti ja kädet ja kakku saavat kiihtyvyyden ylöspäin.

Tehtävä 5.19.

a)



- b) Kuvaajan perusteella tasainen puristus alkaa ajanhetkellä 3 s ja päättyy ajanhetkellä 5 s. Määritetään keskimääräinen puristusvoima aikavälillä 3 s – 5 s.



Oikean käden kolmen sekunnin keskimääräinen puristusvoima on mittauksen perusteella 483,7 N, joten puristusvoima ylittää viitearvon.

- c) Verrataan puristusvoimien eroa pienempään puristusvoimaan. Lasketaan, miten monta prosenttia suurempi on oikean käden puristusvoima suhteessa vasemman käden puristusvoimaan

$$\frac{F_{\text{oikea}} - F_{\text{vasen}}}{F_{\text{vasen}}} = \frac{483,7 \text{ N} - 439,7 \text{ N}}{439,7 \text{ N}} \cdot 100\% = 10,01\% \approx 10\%.$$

Tehtävä 5.20.

Kun sukkaupukkoa lyödään vasaralla alaspäin, menee sukkaupukko omenan läpi. Jatkavuuden lain mukaan kappale pyrkii säilyttämään liiketilansa. Sukkaupukkaan nähden omena liikkuu ylöspäin.

Tehtävä 5.22.

- a) Ensimmäisessä vedossa narun jännitysvoima on pieni ja kiihtyvyys pieni. Naru kestää jännitysvoiman.
- b) Käsi kiihdyttää narua suurella kiihtyvyydellä. Jotta punnus saavuttaisi saman kiihtyvyyden kuin naru, tarvitaan suuri narun jännitysvoima. Naru ei kestä näin suurta jännitysvoimaa.

Tehtävä 5.23.

Polkupyöräilijän alkunopeus $v_0 = 8,4 \text{ km/h}$

Polkupyöräilijän loppunopeus $v = 16,1 \text{ km/h}$

Polkupyöräilijän massa $m = 71 \text{ kg}$

Putoamiskiihtyvyys Maassa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Kiihdytyksen kesto $t = 3,5 \text{ s}$

a) Polkupyöräilijän paino $G = mg = 71 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 696,51 \text{ N} \approx 700 \text{ N}$.

b) Painon vastavoima on voima, jolla pyöräilijä vetää Maata puoleensa.

c) Pyöräilijä on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä.

Pyöräilijän kiihtyvyys

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\left(\frac{16,1 - 8,4}{3,6} \right) \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,5 \text{ s}} = 0,611 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 0,61 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

d) Pyöräilijään vaikuttava kokonaisvoima on Newtonin II lain mukaan

$$\sum F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 71 \text{ kg} \cdot \frac{\left(\frac{16,1 - 8,4}{3,6} \right) \text{ m/s}}{3,5 \text{ s}} = 43,388 \text{ N} \approx 43 \text{ N}.$$

Tehtävä 5.24.

Sähköauton alkunopeus $v_0 = 0$ km/h

Sähköauton loppunopeus $v = 48$ km/h

Kiihdytyksen aikana kuljettu matka $s = 41$ m

Sähköauton massa $m = 1680$ kg

a) Sähköauto on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. Auton kiihtyvyys voidaan laskea matkan yhtälöstä

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$x = \frac{1}{2} a t^2.$$

Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä olevan kappaleen nopeuden avulla saadaan kiihdytykseen kulunut aika, kun kappale lähtee paikoiltaan ja kappaleen alkunopeus on nolla.

$$v = at$$

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

Tällöin matkan kaavasta saadaan kiihtyvyys

$$x = \frac{1}{2} a \left(\frac{v}{a} \right)^2 = \frac{1}{2} \cancel{a} \frac{v^2}{\cancel{a^2}} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{a}$$

$$a = \frac{v^2}{2x} = \frac{\left(\frac{48-0}{3,6} \text{ m/s} \right)^2}{2 \cdot 41 \text{ m}} = 2,168 \text{ m/s}^2 \approx 2,2 \text{ m/s}^2$$

b) Autoa kiihdyttävä kokonaisvoima saadaan sijoittamalla a-kohdan kiihtyvyyden lauseke Newtonin II lain mukaiseen yhtälöön.

$$\begin{aligned} \sum F &= ma = m \frac{v^2}{2x} \\ &= 1680 \text{ kg} \cdot \frac{\left(\frac{48-0 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \right)^2}{2 \cdot 41 \text{ m}} = 3642,276 \text{ N} \approx 3600 \text{ N}. \end{aligned}$$

Tehtävä 5.25.

Punnuksen 1 massa $m_1 = 1,0$ kg

Punnuksen 2 massa $m_2 = 5,0$ kg

Putoamiskiihtyvyys $g = 9,81$ m/s²

Punnukset ovat putoamisen ajan tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. Newtonin II lain mukaan punnusten paino aiheuttaa punnuksille kiihtyvyyden

$$G = ma$$

$$mg = ma$$

$$g = a.$$

Tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä olevan punnuksen putoamisaika saadaan matkan yhtälöstä

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2x}{a}} = \sqrt{\frac{2x}{g}}.$$

Yhtälöstä havaitaan, että punnuksien massat eivät vaikuta putoamisaikaan.

Syvennä

Tehtävä 5.27.

- a) Paikallaan leijuva pisara on pallon muotoinen eli vaihtoehto 2.

Pisaran pinnalla oleviin molekyyleihin kohdistuva kokonaisvoima on kohtisuorassa pintaa vastaan ja sen suunta on nesteen sisälle. Tällaisessa tilanteessa pinta muodostaa pallopinnan. Pisaran muoto voidaan ymmärtää myös pisaran sisäenergian avulla. Luonnossa prosessien ja rakenteiden luonnollinen suunta on sellainen, että energiaa vapautuu. Pisaran sisäenergia on pienimmillään, kun pisaran pinta-ala on pienin mahdollinen. Pallo on muoto, jossa pinta-ala on pienin tilavuuteen nähden.

- b) Kun pisara putoaa, siihen vaikuttaa ilmanvastus, jonka suunta on ylöspäin. Ilmanvastuksen tekemä työ muokkaa pisaran muotoa ja muuttaa pisaran sisäenergiaa. Ilmanvastuksen tekemä työ myös siirtää pisaran liike-energiaa ympäröivän ilman sisäenergiaksi.

c) Veden pintajännitys $\gamma = 0,073 \text{ J/m}^2$

Pisaran pinta-alan muutos $\Delta A = 3,8 \text{ mm}^2 = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

$$\gamma = \frac{\Delta W}{\Delta A}, \text{ joten}$$

$$\Delta W = \gamma \Delta A = 0,073 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 0,2774 \cdot 10^{-6} \text{ J} \approx 0,28 \mu\text{J}$$

Tehty työ on $0,28 \mu\text{J}$.

d) Veden pintajännitys $\gamma = 0,073 \text{ J/m}^2$.

Yhden pisaran tilavuus alussa

$$V_1 = 12 \mu\text{l} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ l} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ dm}^3 = 12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

Sumupisaran tilavuus on $v = \frac{4}{3} \pi r^3$.

Tästä saadaan pisaran säde alussa

$$r_1 = \sqrt[3]{\frac{3 V_1}{4 \pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 12 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3}{4 \pi}} = 1,420248 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Pisaran tilavuus lopussa

$$V_2 = 2 \cdot 12 \mu\text{l} = 24 \mu\text{l} = 24 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

ja pisaran säde lopussa

$$r_2 = \sqrt[3]{\frac{3 V_2}{4 \pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 24 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3}{4 \pi}} = 1,789400 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Pisaroiden yhdistyessä kokonaispinta-ala muuttuu. Vähennetään lopun ison pisaran pinta-alasta alun kahden pienemmän pisaran pinta-alat.

$$\begin{aligned} \Delta A &= A_2 - 2A_1 = 4\pi r_2^2 - 2 \cdot 4\pi r_1^2 \\ &= 4\pi(r_2^2 - 2r_1^2) \\ &= 4\pi((1,789400 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 - 2 \cdot (1,420248 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2) \\ &= -1,04584 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Kahden yksittäisen pisaran pinta-ala on siten suurempi kuin yhden ison pisaran pinta-ala. Silloin pintajännitykseen liittyvä työ on negatiivinen, joten yhdistymisessä sisäenergiaa vapautuu.

Energiaa vapautuu saman verran kuin mitä pinta-alan kasvattamiseen vaadittu työ olisi ollut.

$$\Delta W = \gamma \Delta A = 0,073 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \cdot 1,04584 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 7,6346 \cdot 10^{-7} \text{ J} \approx 0,76 \mu\text{J}$$

Energiaa vapautuu 0,76 μJ .

Tehtävä 5.28.

Sähköpotkulautailijan alkunopeus $v_0 = 19 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{19 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}$

Sähköpotkulautailijan loppunopeus $v = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$

Sähköpotkulautailijan massa $m = 62 \text{ kg}$.

Hidastumiseen kulunut aika $t = 3,2 \text{ s}$

a) Sähköpotkulautailija on tasaisesti hidastuvassa liikkeessä. Potkulautailijan nopeus $v = v_0 + at$, josta saadaan potkulautailijan kiihtyvyys

$$a = \frac{v - v_0}{t} = -\frac{v_0}{t} = -\frac{\frac{19 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}}{3,2 \text{ s}} = -1,6493 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

(kaava 1 p, tulos 1 p)

b) Renkaiden ja maan välinen kitka pysäyttää potkulautailijan liikkeen. (1 p)

c) Newtonin II laki $\sum F = ma$. ilmenee potkulautailijan hidastuvana liikkeenä (1 p). Kappaleeseen vaikuttavien voimien summa ei ole liikkeen suunnassa nolla, koska tien pinnan ja jalan välillä on kitkaa. Siksi potkulauta on hidastuvassa liikkeessä. (1 p) Newtonin III laki ilmenee esimerkiksi tukivoimissa. (1 p) Tien pinnan potkulautaan kohdistama tukivoima on yhtä suuri kuin potkulaudan tiehen kohdistama tukivoima. (1 p)

d) Sähköpotkulautailijaan vaikuttava kokonaisvoima hidastumisen aikana Newtonin II lain mukaan

$$\sum F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \frac{v - v_0}{t - t_0} = -m \frac{v_0}{t}, \text{ koska } v = 0 \text{ m/s ja } t_0 = 0 \text{ s.}$$

$$\sum F = ma = -m \frac{v_0}{t} = -62 \text{ kg} \cdot \frac{19 \text{ m}}{3,2 \text{ s}} = -102,2569 \text{ N} \approx -100 \text{ N}$$

Miinusmerkki tarkoittaa sitä, että voiman suunta vastakkainen potkulautailijan liikesuuntaan nähden.

(Lauseke $\sum F = ma$ (1 p) kaavan lopullinen tulos tai viittaus a-kohdan arvoon kiihtyvyydelle (1 p), tulos (1 p))

e) Potkulautailijan kulkema matka tasaisesti hidastuvassa liikkeessä (1 p)

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2,$$

koska $x_0 = 0$ m. (1 p)

Sijoitetaan a-kohdassa saatu lauseke $a = -\frac{v_0}{t}$ matkan

kaavaan

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = v_0 t + \frac{1}{2} \left(\frac{v - v_0}{t} \right) t^2 = v_0 t - \frac{1}{2} v_0 t \quad (1 \text{ p})$$

$$x = \frac{v_0 t}{2} = \frac{\left(\frac{19 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \right) \cdot 3,2 \text{ s}}{2} = 8,444 \text{ m} \approx 8,4 \text{ m}.$$

(kaavan lopullinen muoto 1 p., tulos oikealla tarkkuudella 1 p)