4. Liikkeen mallintaminen

Tehtävät

Harjoittele

Tehtävä 4.1.

a) B

b) B

c) B

d) C

e) C

Tehtävä 4.2.

Putoamismatka s = 3,8 m

Kun vasara putoaa, se on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. Vasaran kiihtyvyys on putoamiskiihtyvyys g = 9,81 m/s^2.

Vasaran putoamisaika saadaan putoamismatkan avulla

$$s=\frac{1}{2}gt^2$$

$$2s=gt^2$$

$$t^2=\frac{2s}{g}$$

Vasaran putoamisaika on

$$t=\sqrt{\frac{2s}{g}}=\sqrt{\frac{2\cdot 3{,}8\,\mathrm{m}}{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}}=0{,}88018\,\mathrm{s}\approx 0{,}88\,\mathrm{s}.$$

Tehtävä 4.3.

a) Kävelijän A nopeus ei muutu, joten kävelijä A on tasaisessa liikkeessä. Kävelijän B nopeus kasvaa joka sekunti yhtä paljon, joten kävelijä B on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä.

b) Kävelymatka saadaan määritettyä (t, v)-koordinaatiston kuvaajan ja akselien rajoittamasta fysikaalisesta pinta-alasta. Määritetään kävelijöiden nopeuksien kuvaajien fysikaaliset pinta-alat

$$s_{\mathrm{A}} = 2{,}3\,\mathrm{m} \cdot 6{,}0\,\mathrm{s} = 13{,}8\,\mathrm{m} \approx 14\,\mathrm{m},$$
$$s_{\mathrm{B}} = 0{,}5 \cdot 3{,}5\,\mathrm{m} \cdot 6{,}0\,\mathrm{s} = 10{,}5\,\mathrm{m} \approx 11\,\mathrm{m}.$$

Kävelijä A kulkee siten pidemmän matkan.

Tehtävä 4.4.

Potkulautailijan kiihdytysaika t = 6,1 s

Potkulautailijan matka s = 18 m

Potkulautailija on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä, jolloin potkulautailijan kiihtyvyys saadaan matkan yhtälöstä

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

$$a=\frac{2s}{t^2}=\frac{2\cdot 18\,\text{m}}{(6{,}1\,\text{s})^2}=0{,}96748\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\approx 0{,}97\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Tehtävä 4.5.

a) Pallo putoaa maahan noin 9,8 metrin päässä heittopaikasta.

b) Pallo putoaa maahan noin 4,8 metrin päässä heittopaikasta.

c) Jos lähtönopeus kaksinkertaistuu, heiton pituus kaksinkertaistuu.

d) Heittoliikkeessä kappaleen vaakasuuntainen liike on tasaista ja pystysuuntainen liike tasaisesti kiihtyvää. Tämän vuoksi pystysuuntainen nopeus kasvaa nopeasti vaakasuuntaista nopeutta suuremmaksi, jolloin lähtökorkeuden merkitys heiton pituuteen pienenee.

Tehtävä 4.6.

Kävyn nopeus alussa v_0 = 8,6 m/s

a) Kävyn lentoaika t = 0,31 s

Kun käpy heitetään ylöspäin, käpy on tasaisesti hidastuvassa liikkeessä ja kävyn hidastuvuus on putoamiskiihtyvyys g = 9,81 m/s^2. Kävyn nopeus 0,31 s:n kuluttua on

$$v = v_0 + at = v_0 - gt = 8{,}6\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 0{,}31\,\text{s} = 5{,}5589\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 5{,}6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

b) Kävyn lentoaika t = 0,31 s

Käpy on tasaisesti hidastuvassa liikkeessä, jossa kiihtyvyys on putoamiskiihtyvyys. Kiihtyvyyden suunta on liikkeen suuntaan nähden vastakkainen. Kävyn kulkema matka on

$$s = v_0 + \frac{1}{2}at^2 = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$= 8{,}6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\cdot 0{,}31\,\text{s} + \frac{1}{2}\cdot(-9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2})\cdot(0{,}31\,\text{s})^2 = 2{,}1946\,\text{m} \approx 2{,}2\,\text{m}.$$

Tehtävä 4.7.

a) Koska pyöräilijän A paikan kuvaaja on suora, pyöräilijä etenee joka sekunti yhtä pitkän matkan. Pyöräilijä on tasaisessa liikkeessä.

b) (t, x)-koordinaatistoon laaditun kuvaajan jyrkkyys kuvaa kappaleen nopeutta. Pyöräilijän B paikan kuvaaja on nouseva käyrä, jonka jyrkkyys kasvaa. Tästä voidaan päätellä, että alussa pyöräilijän sekunnissa kulkema matka on lyhyempi kuin lopussa. Lopussa nopeus on siis suurempi, ja pyöräilijän liike on kiihtyvää. Kuvaaja on paraabelin puolikkaan muotoinen. Paraabeli on 2. asteen polynomifunktion kuvaaja. Toisen asteen polynomifunktio on siis samaa muotoa kuin tasaisesti kiihtyvän liikkeen paikan yhtälö. Niinpä pyöräilijän B liike on tasaisesti kiihtyvää.

c) Pyöräilijä B saavuttaa pyöräilijän A, kun heillä on sama paikka. Pyöräilijöiden paikka on sama, kun käyrät leikkaavat toisiinsa. Tämä tapahtuu ajanhetkellä $t = 4{,}6$ s.

d) (t, x)-koordinaatistoon laaditulle kuvaajalle piirretyn tangentin jyrkkyys kuvaa kappaleen nopeutta. Pyöräilijöiden paikan kuvaajien jyrkkyys on sama ajanhetkellä t = 2,4 s.

Sovella

Tehtävä 4.8.

a) Putoamismatka y = 1,4 m

Ei huomioida ilmanvastusta.

Putoamisliike on tasaisesti kiihtyvää.

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\frac{2y}{g} = t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}4\,\text{m}}{9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 0{,}53425\,\text{s} \approx 0{,}53\,\text{s}$$

b) Nopeus vaakasuunnassa $v = 23\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{23}{3{,}6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Putoamisaika a-kohdan mukaan on $t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$

Vaakasuunnassa liike on tasaista. Ratsastajan vaakassuunnassa liikkuma matka on

$$x = vt = v\sqrt{\frac{2y}{g}} = \frac{23}{3{,}6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}4\,\text{m}}{9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 3{,}41326\,\text{m} \approx 3{,}4\,\text{m}.$$

Tehtävä 4.9.

a) Suoraan ylöspäin heitetty kuula on tasaisesti hidastuvassa liikkeessä, ja alaspäin heitetty kuula on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. Molempien nopeus muuttuu 9,81 m/s^2.

b) Kun kuula liikkuu ylöspäin, se on tasaisesti hidastuvassa liikkeessä. Sen kiihtyvyys on −9,81 m/s^2, jos positiivinen suunta on ylöspäin. Kun nopeus on hidastunut nollaan, kuula on saavuttanut lakipisteensä, jonka jälkeen sen suunta muuttuu ja nopeus alkaa kasvaa. Kun kuula on takaisin heittokohdassa, sillä on sama nopeus alaspäin kuin millä se heitettiin ylöspäin, sillä kiihtyvyys on koko lennon ajan yhtä suuri. Heittokohdassa kuula siis liikkuu nopeudella 20 m/s alaspäin. Tämä on sama nopeus kuin millä toinen kuula heitetään alaspäin. Näin ollen molempien kuulien nopeudet ovat samat juuri ennen niiden osumista maahan.

Tehtävä 4.10.

Kiipeilijän putoamismatka $s_1 = 2{,}6$ m

Kiipeilijän kiihtyvyys $g = 9{,}81$ m/s^2

Patjan liukumismatka $s_2 = 1{,}4$ m

Patjan hidastuvuus $a = 1{,}8$ m/s^2

a) Kun kiipeilijä putoaa, on kiipeilijä kiihtyvässä liikkeessä ja kiipeilijän kiihtyvyys on putoamiskiihtyvyys. Kiipeilijän putoamisaika

$$s_1 = \frac{1}{2}at^2$$

$$s_1 = \frac{1}{2}gt^2$$

$$t^2 = \frac{2s_1}{g}$$

$$t = \sqrt{\frac{2s_1}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2{,}6\,\mathrm{m}}{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = 0{,}728\,\mathrm{s} \approx 0{,}73\,\mathrm{s}.$$

b) Patja on hidastuvassa liikkeessä, jolloin patjan kulkema matka kiipeilijän putoamisaikana *t* on

$$s_2 = v_0 t - \frac{1}{2}gt^2.$$

Patja pitää laittaa liukumaan nopeudella a-kohdan putoamisaikana

$$s_2 = v_0 t - \frac{1}{2}at^2$$

$$v_0 t = s_2 + \frac{1}{2}at^2$$

$$v_0 = \frac{s_2}{t} + \frac{1}{2}at$$

$$= \frac{1{,}4\,\text{m}}{0{,}728\,\text{s}} + \frac{1}{2}\cdot 1{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 0{,}728\,\text{s} = 2{,}578\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 2{,}6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Tehtävä 4.11.

Veneen nopeus v = 2,8 m/s

Paketin putoamismatka s = 5,1 m

Pallo on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä ja pallon kiihtyvyys on putoamiskiihtyvyys g = 9,81 m/s^2.

Lasketaan pallon putoamisaika tasaisesti kiihtyvän liikkeen matkan avulla

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

$$s=\frac{1}{2}gt^2$$

$$t^2=\frac{2s}{g}$$

$$t=\sqrt{\frac{2s}{g}}.$$

Vene kulkee vakionopeudella. Lasketaan, kuinka pitkän matkan vene kulkee sinä aikana, kun pallo putoaa.

$$x=vt=v\sqrt{\frac{2s}{g}}=2{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\cdot\sqrt{\frac{2\cdot 5{,}1\,\text{m}}{9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}=2{,}8551\,\text{m}\approx 2{,}9\text{ m}.$$

Pallo osuu 2,9 m:n päähän veneen keulasta.

Tehtävä 4.12.

Pyöräilijän nopeus alussa $v_0 = 2{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Pyöräilijän kiihtyvyys $a = 0{,}92\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

a) Pyöräilijän kulkema aika $t = 3{,}2$ s

Pyöräilijä on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä.

Pyöräilijän nopeus 3,2 sekunnin kuluttua

$$v = v_0 + at = 2{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}} + 0{,}92\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3{,}2\,\text{s} = 5{,}444\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 5{,}4\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

b) Pyöräilijän matka tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä

$$\begin{aligned} s &= s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \\ &= 2{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}}t + \frac{1}{2}\cdot 0{,}92\frac{\text{m}}{\text{s}^2}t^2 \\ &= 2{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}}t + 0{,}46\frac{\text{m}}{\text{s}^2}t^2. \end{aligned}$$

Kuljetun matkan ja ajan välillä on toiseen asteen riippuvuus.

c) Pyöräilijän kulkema matka s = 4,5 m

Pyöräilijän matka

$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$, josta saadaan

$\frac{1}{2}at^2 + v_0 t - s = 0.$

Sijoitetaan arvot ja ratkaistaan t laskimella tai toisen asteen yhtälön ratkaisukaavalla:

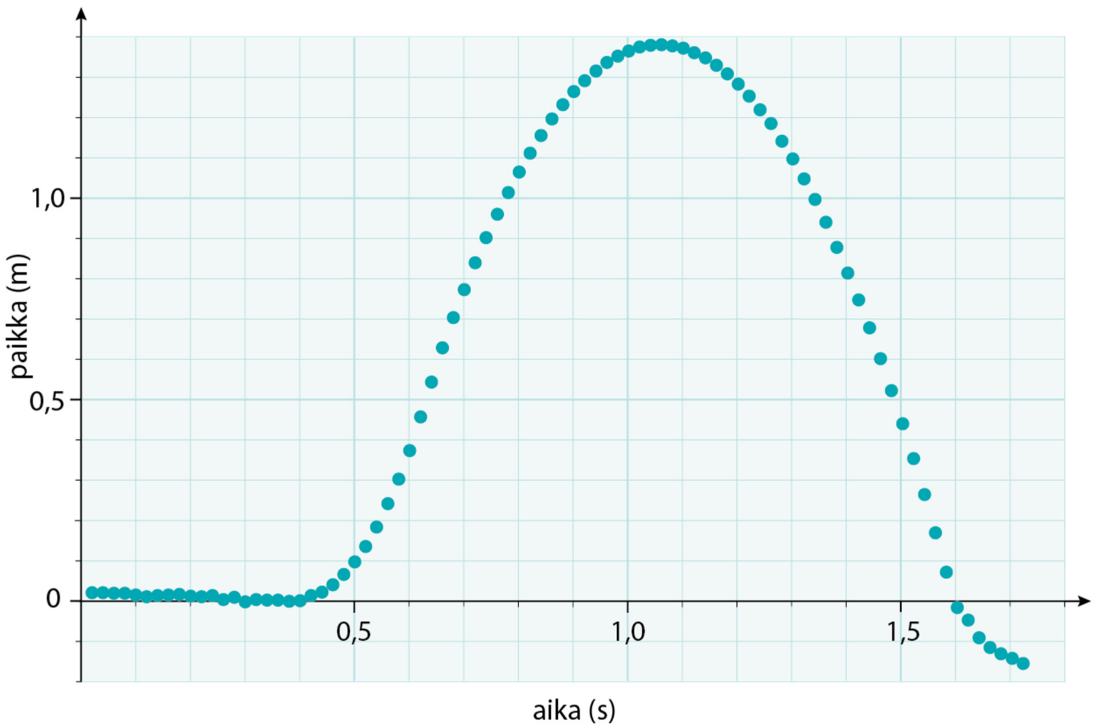
$$\frac{1}{2} \cdot 0{,}92\frac{\text{m}}{\text{s}^2}t^2 + 2{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}}t - 4{,}5\,\text{m} = 0$$

$$t = 1{,}425895\,\text{s tai } (t = -6{,}8606779\,\text{s})$$

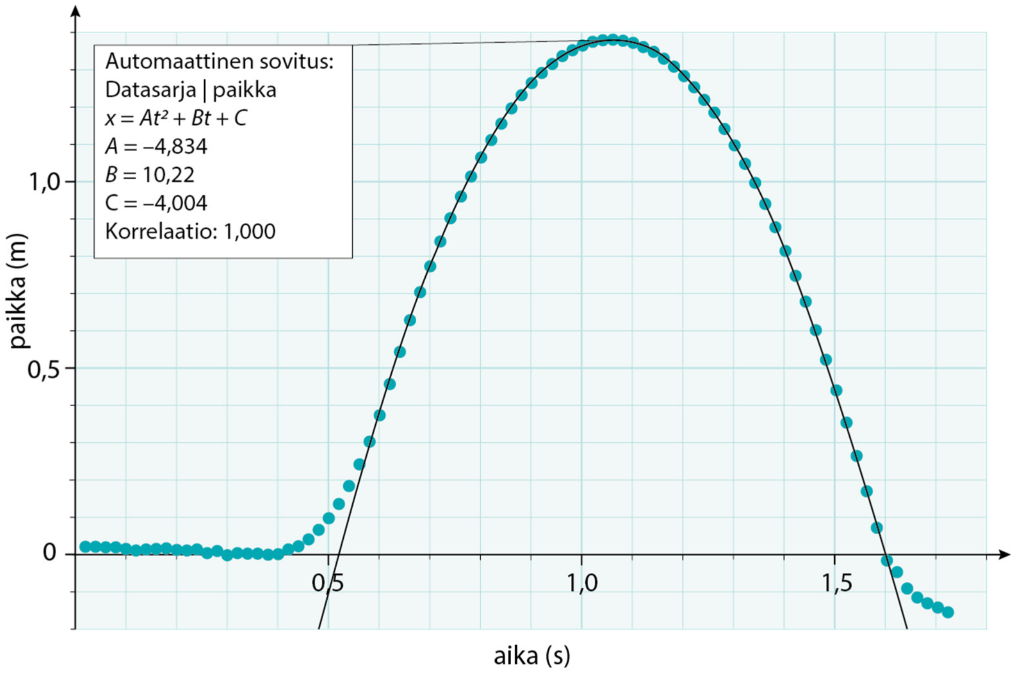
$$t \approx 1{,}4\,\text{s.}$$

Tehtävä 4.13.

a)



b)



c) Kun koripallo heitetään ylöspäin, koripallo on tasaisesti hidastuvassa liikkeessä. Tällöin koripallon paikka

$$x = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2.$$

Koska koripallon paikkaa kuvaa toisen asteen polynomifunktio, jossa toisen asteen termin kerroin on negatiivinen, mittauspisteisiin voidaan sovittaa alaspäin aukeva toisen asteen polynomifunktio.

d) c-kohdan mukaan koripallon paikka on $x = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$.

b-kohdassa sovitetusta polynomifunktiosta

saadaan $A = \frac{1}{2} g$.

Tällöin mittauksen perusteella putoamiskiihtyvyydeksi

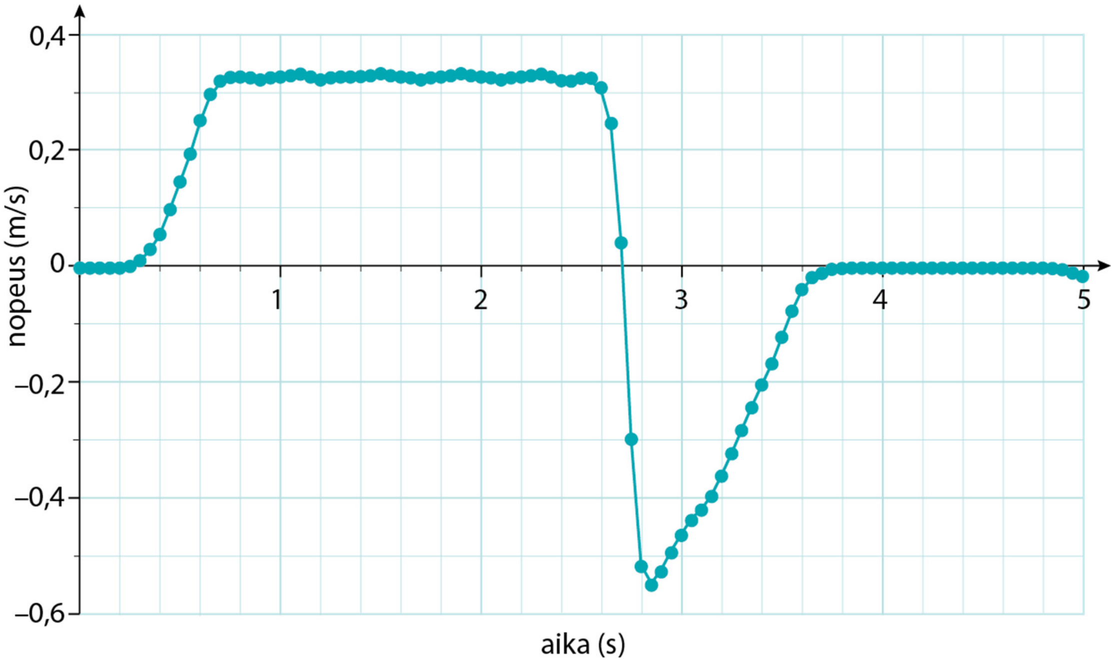
saadaan $g = 2A = 2 \cdot 4{,}834 \, \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9{,}668 \, \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 9{,}67 \, \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Tulos on hieman pienempi kuin putoamiskiihtyvyyden kirjallisuusarvo, 9,81 m/s^2.

Esimerkiksi ilmanvastus ja käytetyn ultraäänianturin tarkkuus aiheuttavat virhettä mittaustulokseen.

Tehtävä 4.14.

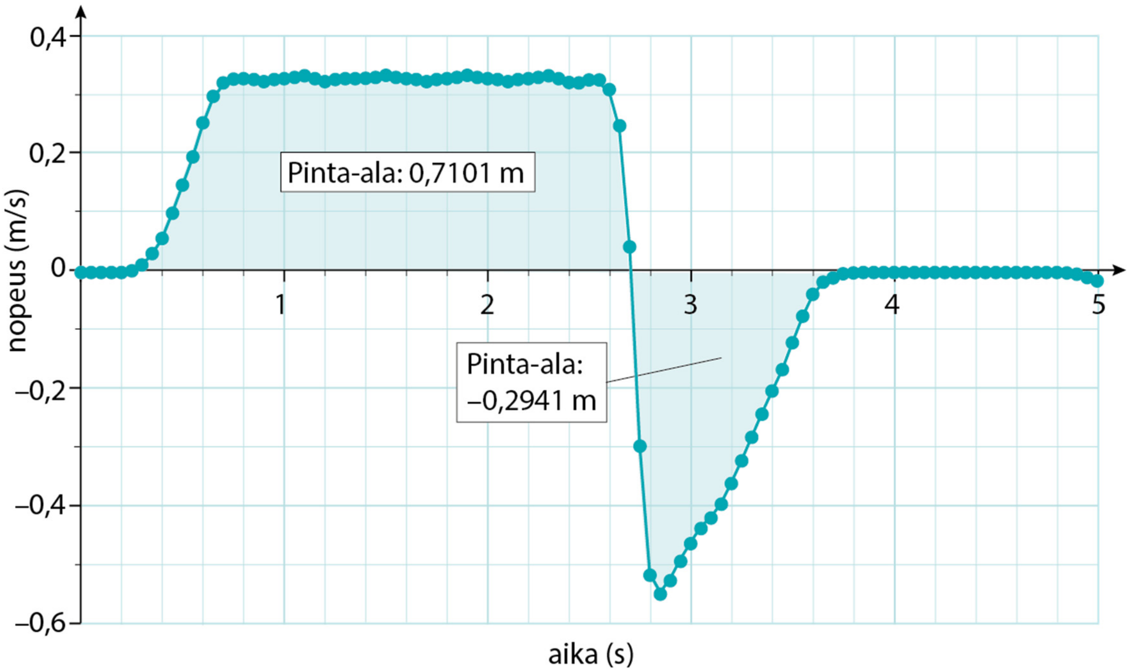
a)



b) Koska vaunun nopeuden suunta muuttui törmäyksessä, kuvaajan avulla voidaan todeta, että törmäys tapahtui ajanhetkellä, jossa vaunun nopeus muuttui positiivisesta negatiiviseksi. Ennen törmäystä vaunun nopeus oli likimain vakio, joten vaunun liike oli tasaista.

c) Vaunun kulkema matka saadaan (t, v)-koordinaatiston ja akselien rajoittaman alueen fysikaalisesta pinta-alasta.

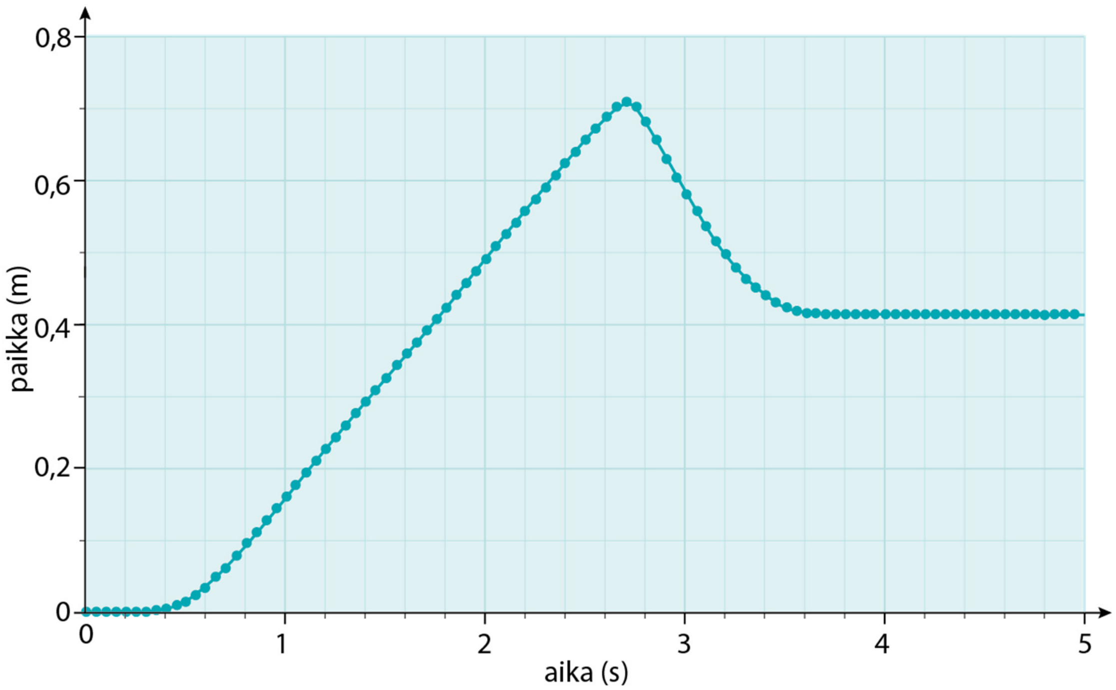
Määritetään ensin matka s_1, jonka vaunu liikkui ennen törmäystä ja matka s_2, jonka vaunu liikkui törmäyksen jälkeen.



Koska tehtävässä kysytään vaunun kulkeman kokonaismatkan pituutta, merkitään molemmat matkat, s_1 ja s_2, positiivisiksi. Vaunun kulkema matka mittauksen aikana on

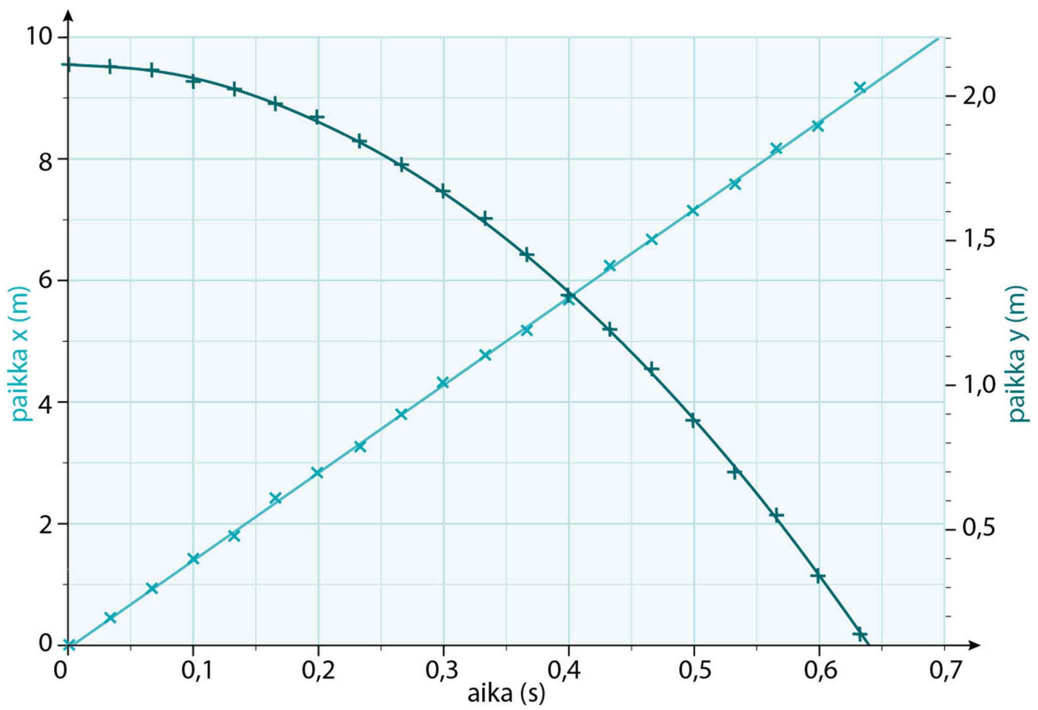
$$s = s_1 + s_2 = 0{,}7101 \text{ m} + 0{,}2941 \text{ m} = 1{,}0042 \text{ m} \approx 1{,}00 \text{ m}.$$

d) Vaunu kulkee alkukiihdytyksen jälkeen liki pitäen tasaisesti eteenpäin 0,71 m ajassa 0,75 s. Sen jälkeen vaunun kulkusuunta muuttuu, ja vaunu liikkuu takaisin päin 0,29 m siten, että vaunun nopeus hidastuu. Vaunu pysähtyy 3,8 s kohdalla.

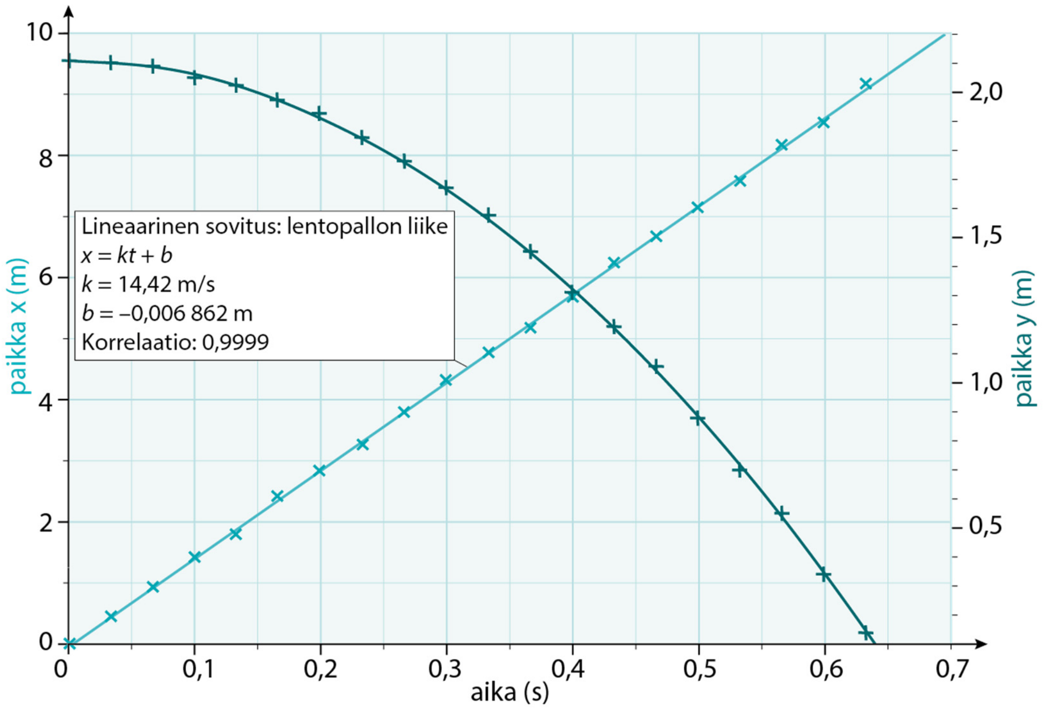


Tehtävä 4.15.

a) Koska vaakasuunnassa pallon liike on tasaista, sovitetaan mittauspisteisiin suora, sillä ajan ja paikan välillä on lineaarinen riippuvuus. Pystysuunnassa pallon liike on tasaisesti kiihtyvää, jolloin paikan ja ajan välillä on toisen asteen riippuvuus. Sovitetaan mittauspisteisiin toisen asteen polynomifunktio.



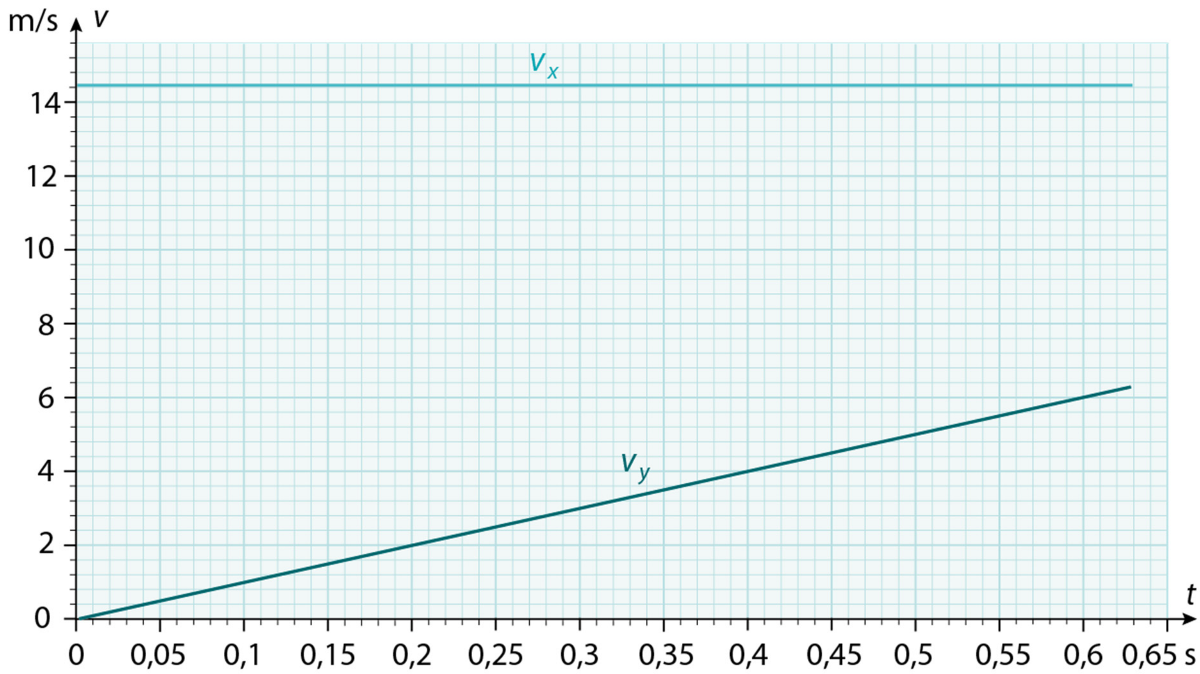
b) Nopeus saadaan (t, x)-koordinaatiston fysikaalisesta kulmakertoimesta. Nopeus vaakasuunnassa on



Pystysuuntaisen liikkeen kuvaaja on alkuhetkellä vaakasuora, joten pystysuuntainen nopeus on nolla. Tällöin lentopallon nopeus alkuhetkellä on

$v = v_x = 14{,}42\ \text{m/s} \approx 14\ \text{m/s}$.

c) Lentopallo on vaakasuunnassa tasaisessa liikkeessä, jolloin lentopallon nopeus vaakasuunnassa on koko lennon aikana b-kohdan mukaisesti v_0 = 14,42 m/s. Lentopallo on pystysuunnassa tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. Määritetään lentopallon hetkellinen nopeus lennon lopussa (t, y)-koordinaatistoon piirretyn tangentin fysikaalisesta kulmakertoimesta. Lennon lopussa pystysuunnan nopeus on v_y = 6,3 m/s. Nopeus pystysuunnassa on alussa nolla. Koska pystysuunnassa liike on tasaisesti kiihtyvää, on (t, v_y)-koordinaatiston kuvaajana nouseva suora.



Tehtävä 4.16.

Havaitaan, että kolikot putoavat saman aikaisesti lattialle. Viivoittimen päällä oleva kolikko putoaa lähes suoraan lattialle ja pyödällä oleva kolikko putoaa pyödästä huomattavasti kauemmaksi. Molempii kolikkoihin kohdistuu putoamisen aikana paino ja ilmanvastus, mutta ilmanvastus on hyvin merkityksetön. Paino aiheuttaa molempiin kolikkoon yhtä suuren kiihtyvyyden g, jolloin kolikot putoavat samanaikaisesti.

Tehtävä 4.17.

Kun tikka irtoaa kädestä, on tikan liike pystysuunnassa tasaisesti kiihtyvää ja tikan kiihtyvyys on g, sillä ilmanvastus on merkityksetön. Myös maalitaulun liike pystysuunnassa on tasaisesti kiihtyvää ja kiihtyvyys on g. Tikka ja maalitaulu liikkuu pystysuunnassa samalla tavalla eli molempien paikka pystysuunnan lähtöpisteeseen muuttuu koko ajan yhtä paljon, jolloin tikka osuu maalitauluun.

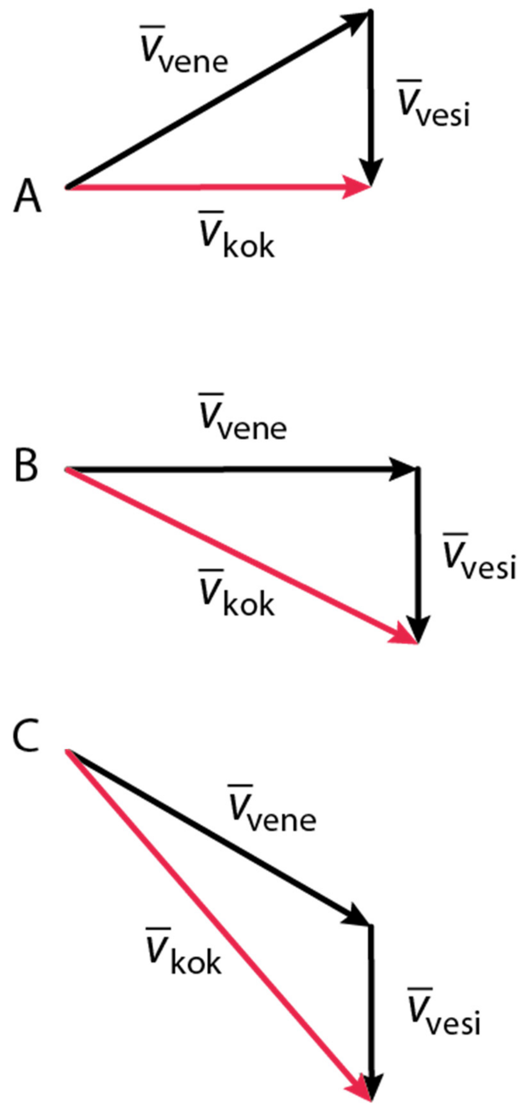
Syvennä

Tehtävä 4.18.

a) Veneen A nopeusvektorien summavektori osoittaa suoraan vastarantaa kohti. Muiden veneiden nopeuksien summavektorit osoittavat vinosti vastarantaan nähden, joten veneet B ja C liikkuvat myös virran suuntaisesti. Näin ollen vene A liikkuu lyhimmän matkan ylittäessään jokea.

b) Veneen B nopeus poikittaisessa suunnassa on kaikista suurin, joten vene B ylittää joen kaikkein lyhimmässä ajassa.

c) Veneen C nopeus on osittain virran suuntainen. Veneen A nopeus on osittain virran suuntaa vastaan ja veneen B nopeus on kohtisuorassa virran suuntaan nähden. Näin ollen veneen C kokonaisnopeus on suurin.



Tehtävä 4.19.

a) Metallin lämpötila T = 300 K

Boltzmannin vakio $k_B = 1{,}380658 \cdot 10^{-23}$ J/K

Elektronin massa $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg

Elektronien nopeuden suuruutta arvioidaan Druden mallin avulla

$$\frac{1}{2}m_e v_e^2 = \frac{3}{2}k_B T$$

$$v_e^2 = \frac{3k_B T}{m_e}$$

$$v_e = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_e}}$$

$$= \sqrt{\frac{3 \cdot 1{,}380658 \cdot 10^{-23}\,\frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 300\text{K}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}\text{kg}}} = 116789{,}856\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1{,}2 \cdot 10^5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Kun metallin lämpötila on 300 K, elektronien nopeus on $v_e = 1{,}2 \cdot 10^5$ m/s.

b) Elektronit liikkuvat suurella nopeudella ($v_e = 1{,}2 \cdot 10^5$ m/s) satunnaisiin suuntiin metallijohdon sisällä. Kun vapaiden elektronien nopeusvektorit lasketaan yhteen, tuloksena saadaan nollavektori. Siksi sähkövirta on nolla johdossa, jota ei ole kytketty osaksi virtapiiriä.

c) Elektronin kulkema matka (λ) voidaan laskea relaksaatioajan (τ) avulla. Törmäysaika on $\tau = 1 \cdot 10^{-12}$ s. Matka on

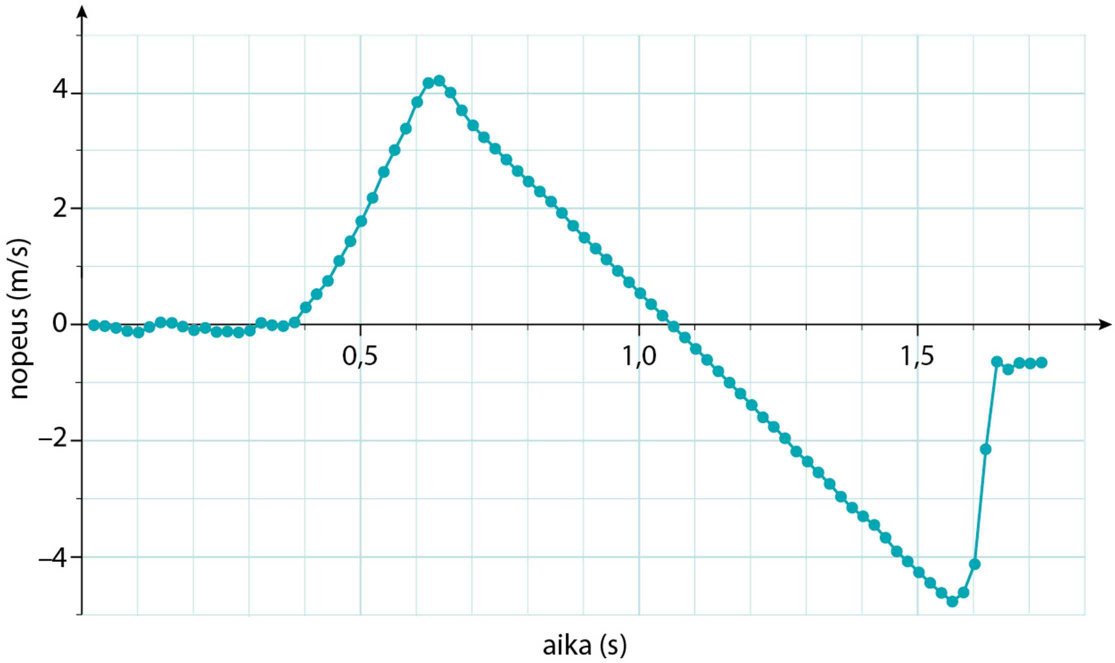
$$\lambda = v_e \tau = 116789{,}856\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \cdot 10^{-12}\,\text{s} = 1{,}168 \cdot 10^{-7}\,\text{m} \approx 120\,\text{nm}.$$

Elektronin kulkema matka kahden törmäyksen välillä on siis paljon pidempi kuin ionien välinen etäisyys (noin 0,3 nm) metallikiteessä.

d) Elektronien kulkema matka kahden törmäyksen välillä on paljon pidempi kuin ionien välinen etäisyys metallissa. Tästä voidaan päätellä, että elektronit eivät metallissa liikkuessaan todennäköisesti törmää metalli-ioneihin vaan johonkin muuhun, kuten lämpövärähtelystä aiheutuvien aaltoihin eli fononeihin, metallin epäpuhtauksiin tai kidevirheisiin.

Tehtävä 4.20.

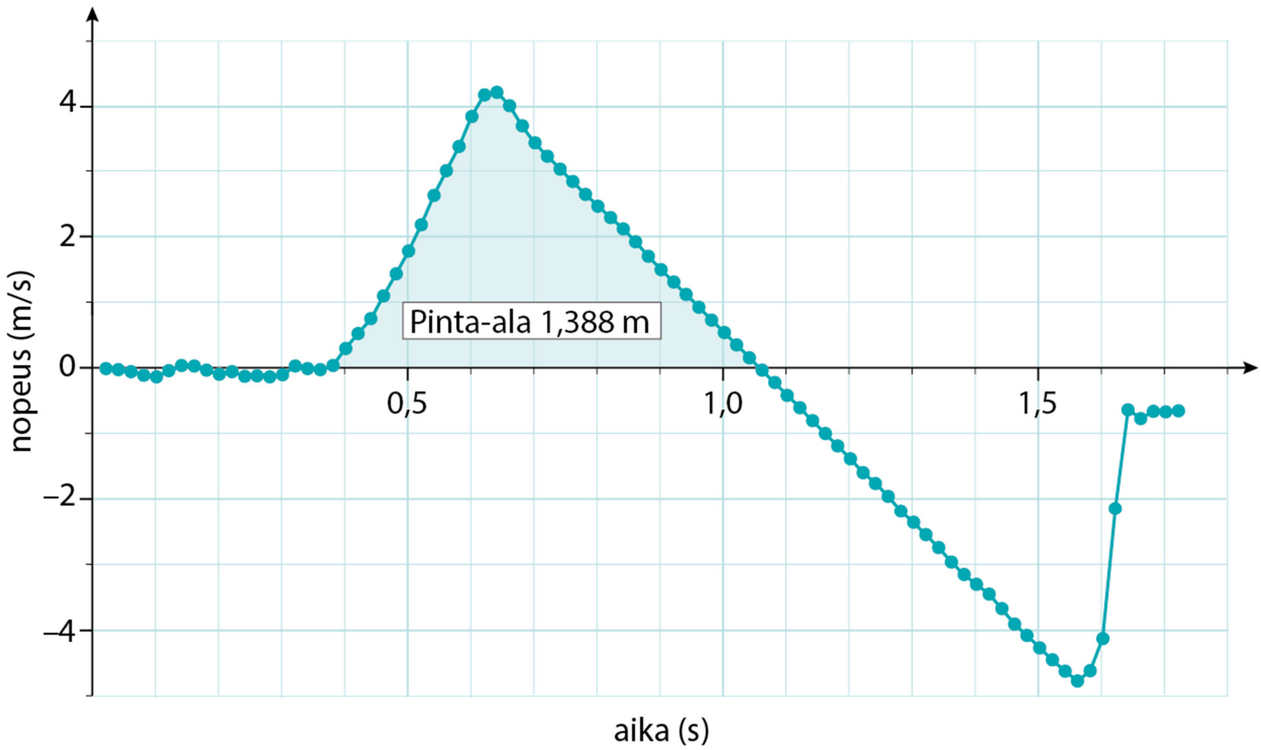
a)



(akselit oikein päin 1 p, mittauspisteet näkyvillä 1 p)

b) Lakipiste tarkoittaa pallon lentoradan korkeinta kohtaa. Siinä ylöspäin liikkuvan pallon nopeus on hidastunut ja pallon nopeus on hetkellisesti nolla. Kun pallo alkaa pudota, nopeuden suunta muuttuu. (1 p) Kuvaajasta voidaan lukea, että pallon nopeus on nolla ajanhetkellä t = 1,06 s. (1 p)

c) Pallon kulkema matka saadaan (t, v)-koordinaatiston ja akselin rajoittaman alueen fysikaalisesta pinta-alasta. (1 p) Määritetään fysikaalinen pinta-ala lakikorkeuteen asti



Koripallon nousukorkeus h = 1,388 m ≈ 1,4 m. (määritys 1 p, vastaus oikealla tarkkuudella 2 p. Vastaus voi olla likimain 1,39 m tai 1,4 m)

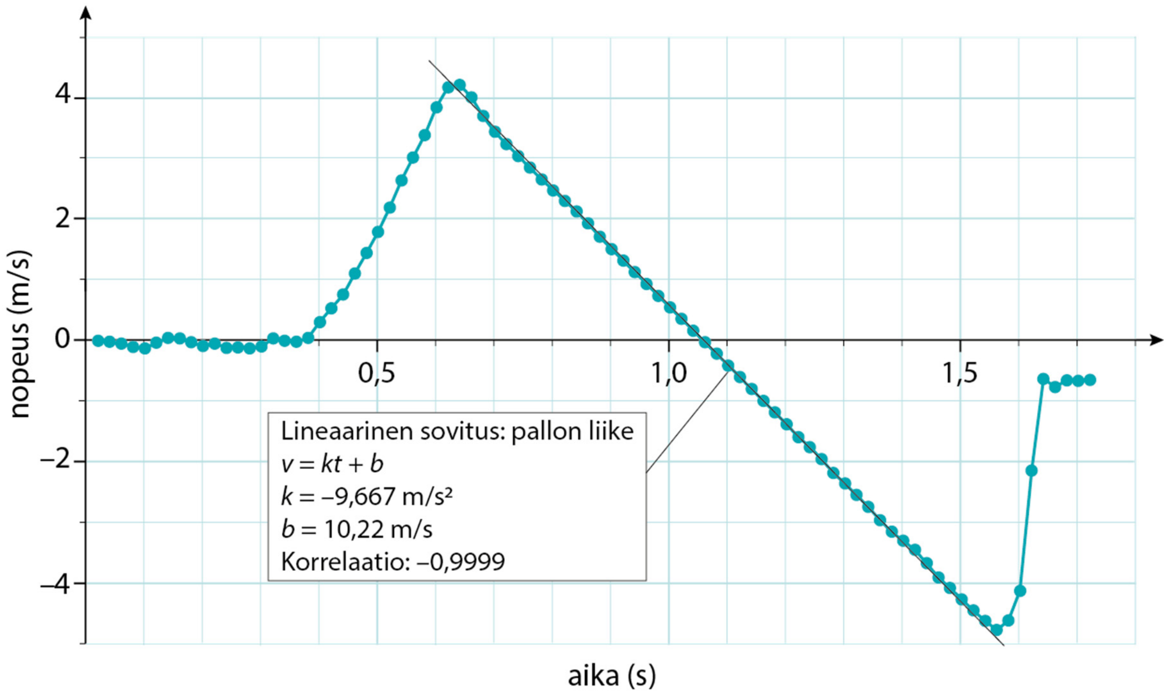
d) Kun pallo on pystysuorassa heittoliikkeessä, on pallo tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä. (1 p) Pallon paikkaa voidaan mallintaa yhtälöllä

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2,\ \text{(1 p)}$$

jossa v_0 on pallon alkunopeus, a on pallon kiihtyvyys ja x_0 pallon paikka ajanhetkellä $t = 0$ s. Alussa $x_0 = 0$.

Interpoloidaan kuvaajaa ja määritetään pallon alkunopeus irtoamisen jälkeen. Irtoamisen jälkeen pallo on tasaisesti hidastuvassa liikkeessä, jolloin nopeus alkaa pienentyä tasaisesti. Pallo irtosi kädestä ajanhetkellä 0,64 s, jolloin interpoloimalla saadaan pallon nopeudeksi 4,2 m/s ylöspäin. (1 p)

Pallon kiihtyvyys saadaan *(t*, *v*)-koordinaatistoon laaditun kuvaajan fysikaalisesta kulmakertoimesta. Koska heittoliikkeen aikana pallo on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä, määritetään kiihtyvyys kuvaajan lineaariselta osalta.



Pallon kiihtyvyys on $a = -9{,}667\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$. (2 p)

Pallon paikan matemaattiseksi malliksi saadaan

$$x(t) = 4{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}}t + \frac{1}{2}\cdot\left(-9{,}667\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)t^2$$

eli

$x(t) = 4{,}2\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}}t - \dfrac{1}{2}\cdot 9{,}667\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}t^2$ tai $x(t) = 4{,}2\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}}t - 4{,}83\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}t^2$.

(lukuarvot sijoitettuna malliin 1 p, jompi kumpi viimeisistä sievennetyistä muodoista 1 p. HUOM! Jos mallissa ei ole yksiköitä, ei pisteitä.)