

## 9 Mekaanisen energian ja lämpöenergian yhteys

9-7.

$$m = 140 \text{ g}, h = 8,3 \text{ m}$$

- Kiven potentiaalienergia 8,3 m korkeudella potentiaalienergian nollassasta on  $E_p = mgh = 0,140 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 8,3 \text{ m} \approx 11 \text{ J}$ .
- Koska vedenpinnan taso on potentiaalienergian nollassa, kiven potentiaalienergia vedenpinnan tasolla on nolla.
- Kiven potentiaalienergian muutos on  $\Delta E_p = mg\Delta h = 0,140 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 8,3 \text{ m} \approx 11 \text{ J}$ .

9-8.

$$m = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}, v = 29,78 \text{ km/s}$$

Maapallon liike-energia on

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot (29,78 \text{ km/s})^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot (29,78 \cdot 10^3 \text{ m/s})^2 \approx 2,649 \cdot 10^{33} \text{ J}$$

9-9.

$$h = 10,5 \text{ km}, v = 980 \text{ km/h}, m = 310 \text{ tn}$$

Lentokoneen mekaaninen energia on sen potentiaalienergian ja liike-energian summa:

$$E_{\text{mek}} = E_p + E_k = mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= 310\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10,5 \cdot 10^3 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 310\,000 \text{ kg} \cdot \left(\frac{980 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}\right)^2 = 4,3 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$\approx 43 \text{ GJ}$$

9-10.

- Fysiikassa voima tekee työtä, kun se siirtää kappaletta tai kun kappale liikkuu voiman suunnassa tai sitä vastaan. Työ on voiman välityksellä tapahtuvaa energian siirtoa kappaleen ja sen ympäristön välillä.
- Voima tekee työtä kohdissa i), ii) ja iv).
- Koska kivi ei liiku, henkilö ei tee työtä.

9-11.

$$F = 59 \text{ N}, s = 190 \text{ m}$$

Rattaiden työntämisessä käden kosketusvoiman tekemä työ on

$$W = Fs = 59 \text{ N} \cdot 190 \text{ m} = 11210 \text{ Nm} \approx 11 \text{ kJ}$$

9-12.

$$m = 7,5 \text{ kg}, h = 1,8 \text{ m}, g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- Kun matkalaukku nostetaan vakionopeudella, käden kosketusvoima on laukun painon suuruinen eli  $G = mg = 7,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 73,575 \text{ N}$ .  
Käden kosketusvoiman tekemä työ on  $W = Gh = 73,575 \text{ N} \cdot 1,8 \text{ m} = 132,435 \text{ Nm} \approx 130 \text{ J}$ .
- Laukun potentiaalienergia kasvaa nostossa yhtä paljon kuin mikä on nostossa tehty työ eli 130 J.

## 9 Mekaanisen energian ja lämpöenergian yhteys

9-13.

- a) Joulen kokeessa langan varassa putoava punnus pyöritti kalorimetrin vedessä olevaa siipipyörää. Joule havaitsi, että veden lämpötila nousi. Joulen kokeessa tutkitaan mekaanisen työn ja lämpöenergian yhteyttä. Kokeen voi toteuttaa siten, että annetaan putoavan punnuksen pyörittää nesteessä olevaa siipipyörää. Mitataan korkeus, jolta punnus alkaa putoamaan ja punnuksen loppunopeus. Toistetaan koe useita kertoja. Punnuksen pudotessa sen potentiaalienergiaa muuntuu liike-energiaksi. Koska punnuksen loppunopeus on suuruusluokkaa muutama senttimetri sekunnissa, punnuksen liike-energia on hyvin pieni. Näin ollen punnuksen mekaanisen energian muutos koostuu pääasiassa punnuksen potentiaalienergiasta ja on negatiivinen: neste siis ottaa vastaan lämpöenergiaa. Nesteen lämpötila nousee ja lämpötilan muutoksen voi laskea jakamalla nesteen vastaanottaman lämpömäärän kalorimetrin (neste + siipipyörä) lämpökapasiteetilla. Veteen tuotu lämpömäärä on verrannollinen tehtyyn työhön eli  $Q \sim W$ . Joulen kokeessa energia säilyi, koska työn ilmaisema määrä punnuksen mekaanista energiaa muuntui lämpöenergiaksi.
- b) Joule päätteli, että lämpö ja työ ovat kaksi eri tapaa siirtää energiaa. Joulen kokeen tulokset osoittivat, että energiaa voidaan muuntaa muodosta toiseen, mutta sen määrä säilyy.

9-14.

- a)
- Pallon potentiaalienergia muuntuu ensin liike-energiaksi. Törmäyksessä liike-energia muuntuu ilman, pöytätason ja pallon lämpöenergiaksi (ja ääneksi).
  - Lämpöjälki katoaa rautapallosta nopeammin kuin puusta, koska rauta on puuta parempi lämmönjohde: lämpöenergia jakautuu nopeasti koko pallon. Huomaa myös pallon yläosassa oleva lämpöjälki, joka syntyy palloa pitävästä kädestä, ja videon lopussa sormen pyöräyttäessä palloa.
- b)  $h = 15 \text{ m}$ ,  $m = 1,1 \text{ kg}$ ,  $\Delta t = 0,75 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $\Delta T = 0,75 \text{ K}$ ,  $c = 0,128 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$   
Pudotuksessa vapautui potentiaalienergiaa  
 $E_p = mgh = 1,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 15 \text{ m} = 161,865 \text{ J}$ .

Koska kuulun lämpötila nousi  $0,75 \text{ }^\circ\text{C}$ , kuula vastaanotti lämpömäärän  
 $E = cm\Delta T = 0,128 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \cdot 1,1 \text{ kg} \cdot 0,75 \text{ K} = 0,1056 \text{ kJ} = 105,6 \text{ J}$

Mekaanisesta energiasta muuntui lyijykuulan sisäenergiaksi  $\frac{105,6 \text{ J}}{161,865 \text{ J}} \approx 0,65 = 65 \%$ .

9-15.

$m = 0,123 \text{ kg}$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $h = 1,9 \text{ m}$ ,  $c = 0,387 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$   
Jokaisen pudotuksen aikana vapautui potentiaalienergiaa  
 $E_p = mgh = 0,123 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,9 \text{ m} = 2,292597 \text{ J}$ .

Koska pudotus toistettiin 20 kertaa, potentiaalienergiaa vapautui kaikkiaan  
 $Q = 20 \cdot E_p = 20 \cdot 2,292597 \text{ J} = 45,85194 \text{ J}$ .

Tästä määrästä puolet eli  $22,92597 \text{ J}$  muuntui kuulien sisäenergiaksi, joten kuulien lämpötila kasvoi.

Yhtälöstä  $Q = cm\Delta T$  saadaan kuparikuulien lämpötilan muutokseksi

$$\Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{22,92597 \text{ J}}{0,387 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 0,123 \text{ kg}} \approx 0,48 \text{ K}.$$

Koska lämpötilan muutos kelvineinä on yhtä suuri kuin celsiusasteina, kuulien lämpötila nousi  $0,48 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 9 Mekaanisen energian ja lämpöenergian yhteys

9-16.

$$m = 1,1 \text{ kg}, v_a = 1,0 \text{ m/s}, h = 9,3 \text{ m}, v_l = 9,1 \text{ m/s}$$

Valitaan potentiaalienergian nollassoksi putouksen alataso.

a) Pallon mekaaninen energia

i. ennen putousta on

$$E_a = mgh + \frac{1}{2}mv_a^2$$

$$= 1,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 9,3 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 1,1 \text{ kg} \cdot (1,0 \text{ m/s})^2 = 100,906 \text{ J} \approx 100 \text{ J}$$

ja

ii. putouksen jälkeen on  $E_l = \frac{1}{2}mv_l^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,1 \text{ kg} \cdot (9,1 \text{ m/s})^2 = 45,5455 \text{ J} \approx 46 \text{ J}$ .

b) Pallon mekaaninen energian alussa on suurempi kuin lopussa:

$$\Delta E_{\text{mek}} = E_l - E_a = 45,5455 \text{ J} - 100,906 \text{ J} \approx -55 \text{ J}$$

Ero johtuu veden vastusvoimien tekemästä työstä.

9-17.

$$m_v = 0,328 \text{ kg}, m_p = 3,00 \text{ kg}, h = 1,65 \text{ m}, v = 1,5 \text{ m/s}, \Delta t = 0,78 \text{ }^\circ\text{C ja } \Delta T = 0,78 \text{ K}$$

Jokaisen pudotuksen aikana vapautuu potentiaalienergiaa

$$E_p = m_pgh = 3,00 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,65 \text{ m} = 48,5595 \text{ J}$$

Jokaisessa pudotuksessa potentiaalienergiasta muuntuu liike-energiaksi

$$E_k = \frac{1}{2}m_p v^2 = \frac{1}{2} \cdot 3,00 \text{ kg} \cdot (1,5 \text{ m/s})^2 = 3,375 \text{ J}$$

Mekaanisen energian muutos  $\Delta E$  on

$$\Delta E = E_k - E_p = 3,375 \text{ J} - 48,5595 \text{ J} = -45,1845 \text{ J}$$

Koska mekaanisen energian muutos on negatiivinen, se tarkoittaa, että mekaaninen energia vähenee. Vesi ottaa vastaan energiaa lämpönä.

Koska pudotus toistetaan 25 kertaa, vesi vastaanottaa lämpömäärän

$$Q = 25 \cdot \Delta E = 25 \cdot 45,1845 \text{ J} = 1129,6125 \text{ J}$$

Yhtälöstä  $Q = cm_v\Delta T$  saadaan veden ominaislämpökapasiteetiksi

$$c = \frac{Q}{m_v\Delta T} = \frac{1129,6125 \text{ J}}{0,328 \text{ kg} \cdot 0,78 \text{ K}} = 4415,3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \approx 4,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

9-18.

Kummassakin kohdassa kitkaa vastaan tehty työ muuntuu kappaleen (kohta a kuumemittari, b naula) sisäenergiaksi ja kappale lämpenee.