

- 26 Vanaf het dak van een 35 m hoge toren wordt een kogeltje recht omhoog geschoten. De beginsnelheid van het kogeltje bedraagt  $22 \text{ m s}^{-1}$ . Het startpunt noem je A. Bij de vragen a en b wordt de luchtweerstand verwaarloosd.
- a Bereken met behulp van de wet van behoud van energie de maximale hoogte die het kogeltje bereikt ten opzichte van de grond.
- Bij de val naar beneden passeert het kogeltje punt A. Hedwig weet zeker, zonder te rekenen, dat de snelheid van het kogeltje op dat moment  $22 \text{ m s}^{-1}$  is.
- b Leg zonder berekening uit waarom de snelheid bij A weer  $22 \text{ m s}^{-1}$  is. Nu verwaarloos je niet de invloed van de luchtweerstand op de beweging van het kogeltje. De maximale hoogte die het kogeltje dan bereikt, is kleiner.
- c Leg dit uit met behulp van de wet van behoud van energie.
- d Is de snelheid waarmee het kogeltje punt A passeert nu ook kleiner dan  $22 \text{ m s}^{-1}$ ? Licht je antwoord toe.

**Opgave 26**

- a De maximale hoogte van het kogeltje ten opzichte van de grond bereken je met de formule voor de zwaarte-energie.  
De zwaarte-energie bereken je met de wet van behoud van energie.

$$\sum E_{\text{in},A} = \sum E_{\text{uit},B}$$

- A Het kogeltje bevindt zich op het dak van de toren.  
Er is een hoogte van 35 m. Dus is er zwaarte-energie (ten opzichte van de grond).  
Het kogeltje heeft een snelheid. Dus is er kinetische energie.
- B Het kogeltje bevindt zich in het hoogste punt van de beweging.  
Er is een bepaalde hoogte. Dus is er zwaarte-energie.  
Bij de maximale hoogte is de snelheid  $0 \text{ m s}^{-1}$ . Er is geen kinetische energie.

$$\begin{aligned} E_{\text{K},A} + E_{\text{ZW},A} &= E_{\text{ZW},B} \\ \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot h_A &= m \cdot g \cdot h_B \\ \frac{1}{2} \cdot v_A^2 + g \cdot h_A &= g \cdot h_B \quad (\text{na wegstrepen } m) \\ v_A &= 22 \text{ m s}^{-1} \\ h_A &= 35 \text{ m} \\ g &= 9,81 \text{ m s}^{-2} \\ \frac{1}{2} \times (22)^2 + 9,81 \times 35 &= 9,81 \cdot h_B \\ h_B &= 59,6 \text{ m} \\ \text{Afgerond: } h_B &= 60 \text{ m.} \end{aligned}$$

- b De luchtweerstand wordt verwaarloosd. Tijdens de beweging is er geen warmteontwikkeling. Bij de verplaatsing van de kogel van 35 naar 60 m hoogte wordt de kinetische energie omgezet in een toename van de zwaarte-energie.  
Bij de verplaatsing van 60 naar 35 m hoogte gebeurt het omgekeerde.  
De snelheid is dus weer  $22 \text{ m s}^{-1}$ .

c 
$$\sum E_{\text{in},A} = \sum E_{\text{uit},B}$$

- A Het kogeltje bevindt zich op het dak van de toren.  
Er is een hoogte van 35 m. Dus is er zwaarte-energie (ten opzichte van de grond).  
Het kogeltje heeft een snelheid. Dus is er kinetische energie.
- B Het kogeltje bevindt zich in het hoogste punt van de beweging.  
Er is een bepaalde hoogte. Dus is er zwaarte-energie.  
Bij de maximale hoogte is de snelheid  $0 \text{ m s}^{-1}$ . Er is geen kinetische energie.  
Er is luchtweerstand. Dus ontstaat er warmte.

$$\begin{aligned} E_{\text{K},A} + E_{\text{ZW},A} &= E_{\text{ZW},B} + Q \\ \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot h_A &= m \cdot g \cdot h_B + Q \end{aligned}$$

Een deel van de kinetische energie wordt nu omgezet in warmte. De toename van de zwaarte-energie is dus kleiner. De hoogte die het kogeltje bereikt, is dan kleiner.

- d Om te bepalen of de snelheid bij punt A kleiner is dan  $22 \text{ m s}^{-1}$  gebruik je de wet van behoud van energie.

$$\sum E_{\text{in},A} = \sum E_{\text{uit},B}$$

- A Het kogeltje bevindt zich op het dak van de toren.  
Er is een hoogte van 35 m. Dus is er zwaarte-energie (ten opzichte van de grond).  
Het kogeltje heeft een snelheid. Dus is er kinetische energie.
- B Het kogeltje bevindt zich weer op het dak van de toren.  
Er is een bepaalde hoogte. Dus is er zwaarte-energie.  
Het kogeltje passeert deze hoogte en heeft dus een snelheid.  
Er is luchtweerstand. Dus ontstaat er warmte.

$$\begin{aligned} E_{\text{K},A} &= E_{\text{K},B} + Q \\ \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + Q \end{aligned}$$

Omdat  $Q$  altijd een positieve waarde heeft, volgt uit deze vergelijking  $v_B < v_A$ .  
Dus is de snelheid in punt A bij terugkomst kleiner dan  $22 \text{ m s}^{-1}$ .