

Hoofdstuk 8 Arbeid en energie

8.1 Arbeid

Opgave 1

- Of een kracht positieve arbeid of negatieve arbeid verricht, leid je af uit de richting van (een component van) de kracht ten opzichte van de bewegingsrichting van het voorwerp.

De arbeid is positief als de richting van de kracht dezelfde is als de bewegingsrichting.

De arbeid is negatief als de richting van de kracht tegengesteld is aan de bewegingsrichting.

Zie tabel 8.1.

Situatie	Kracht	Arbeid
1	spierkracht zwaartekracht luchtweerstandskracht	positief negatief negatief
2	zwaartekracht normaalkracht	nul nul
3	zwaartekracht luchtweerstandskracht	positief negatief
4	spierkracht luchtweerstandskracht rolweerstandskracht zwaartekracht normaalkracht	positief negatief negatief nul nul
5	motorkracht luchtweerstandskracht rolweerstandskracht zwaartekracht normaalkracht	positief negatief negatief nul nul
6	zwaartekracht schuifwrijvingskracht luchtweerstandskracht normaalkracht	positief negatief negatief nul
7	gravitatiekracht	nul

Tabel 8.1

Opgave 2

- Dat dit een goede speerwerpstechniek is, leg je uit met de formule voor de arbeid.

$$W_{\text{spier}} = F_{\text{spier}} \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

Tijdens het werpen is de richting van de spierkracht dezelfde als de bewegingsrichting van de speer ($\alpha = 0^\circ$ en $\cos(0^\circ) = 1$), dus $W_{\text{spier}} = F_{\text{spier}} \cdot s$.

Voor een verre worp moet de speer een zo groot mogelijke snelheid hebben als hij wordt losgelaten. Dus W_{spier} moet zo groot mogelijk zijn.

Is F_{spier} tijdens de beweging maximaal (en dus hetzelfde), dan is W_{spier} zo groot mogelijk als de verplaatsing s zo groot mogelijk is. Door haar arm eerst zo ver mogelijk naar achteren en daarna naar voren te bewegen, is de verplaatsing van achteren naar voren zo groot mogelijk en daardoor de arbeid die de spierkracht verricht ook. Daardoor is dit een goede speerwerpstechniek.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 3

- a ► De arbeid die de spierkracht van de tegelzetter moet verrichten om de tegels omhoog te verplaatsen, bereken je met de formule voor de arbeid.

$$W_{\text{spier}} = F_{\text{spier}} \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{\text{spier}} = F_z \quad (\text{De snelheid is constant, dus is } F_{\text{res}} = 0 \text{ N in de verticale richting.})$$

$$s = h \quad (\text{Het hoogteverschil tussen de eerste verdieping en de begane grond.})$$

$$\alpha = 0^\circ \quad (\text{De richting van de spierkracht is gelijk aan de bewegingsrichting.})$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{spier}} = F_z \cdot h \cdot \cos(0^\circ) = F_z \cdot h$$

Of de tegelzetter de dozen nu in twee keer (2×3 dozen) of in drie keer (3×2 dozen) naar boven brengt, maakt voor de totale massa van de dozen niet uit. De totale massa van de dozen is in beide gevallen hetzelfde, en daardoor de zwaartekracht en de spierkracht ook. In beide gevallen is de te verrichten arbeid dus even groot.

- b De tegelzetter moet ook zichzelf omhoog brengen. Als hij drie keer omhooggaat, verricht zijn spierkracht meer arbeid dan als hij twee keer omhooggaat.

Opgave 4

- a ► De arbeid W_w die de wrijvingskracht heeft verricht, bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_w = -F_w \cdot s$$

$$F_w = 0,40 \text{ kN} = 0,40 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$s = 84 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_w = -0,40 \cdot 10^3 \times 84 = -3,360 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_w = -3,4 \cdot 10^4 \text{ J.}$$

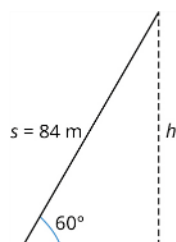
- b ► De arbeid W_z die de zwaartekracht heeft verricht, bereken je met de formule voor de arbeid verricht door de zwaartekracht.

$$W_z = -F_z \cdot h \quad (\text{Negatief: het beginpunt is lager dan het eindpunt.})$$

$$F_z = m \cdot g = (250 + 8 \times 70) \times 9,81 = 7,946 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- De hoogte h bereken je met een goniometrische verhouding.

Zie figuur 8.1.



Figuur 8.1

$$\sin(60^\circ) = \frac{h}{84}$$

$$h = 84 \times \sin(60^\circ) = 72,7 \text{ m}$$

- Invullen van $F_{z,\perp}$ en h in de formule $W_z = -F_z \cdot h$:

$$W_z = -7,946 \cdot 10^3 \times 72,7 = -5,7767 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_z = -5,8 \cdot 10^5 \text{ J.}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- c – ► De kracht F_{trek} die de kabel op de kar uitoefent, bereken je met de eerste wet van Newton en de krachten op de kar evenwijdig aan de helling.

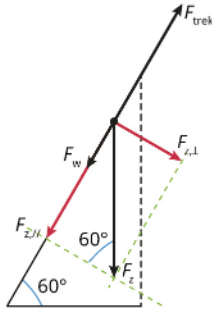
$$F_{\text{res},//} = 0 \text{ N en } \vec{F}_{\text{res},//} = \vec{F}_w + \vec{F}_{z,//} + \vec{F}_{\text{trek}}$$

De spankracht F_{trek} is evenwijdig aan de helling omhoog. Omdat de kar langs de helling omhoog beweegt, is de trekkracht positief.

De wrijvingskracht F_w is langs de helling omlaag, want de kar gaat langs de helling omhoog.

De component van de zwaartekracht $F_{z,//}$ is evenwijdig aan de helling omlaag.

Zie een schets van de krachten in figuur 8.2.



Figuur 8.2

Het verband tussen de drie krachten is dus $F_{\text{trek}} - F_w - F_{z,//} = 0 \text{ N}$. Hieruit volgt:

$$F_{\text{trek}} = F_w + F_{z,//}$$

$$F_w = 0,40 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- De component van de zwaartekracht $F_{z,//}$ bereken je met een goniometrische verhouding. Zie figuur 8.2.

$$\sin(60^\circ) = \frac{F_{z,//}}{F_z}$$

$$F_z = 7,946 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } \sin(60^\circ) = \frac{F_{z,//}}{7,946 \cdot 10^3}$$

$$F_{z,//} = 7,946 \cdot 10^3 \times \sin(60^\circ) = 6,88 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- Invullen van $F_w + F_{z,//}$ in de formule $F_{\text{trek}} = F_w + F_{z,//}$:

$$F_{\text{trek}} = 0,40 \cdot 10^3 + 6,88 \cdot 10^3 = 7,280 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- ► De arbeid die de trekkracht heeft verricht, bereken je met de formule voor de arbeid.

$$W_{\text{trek}} = F_{\text{trek}} \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{\text{trek}} = 7,280 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$s = 84 \text{ m}$$

$$\alpha = 0^\circ \quad (\text{De richting van de trekkracht is gelijk aan de bewegingsrichting.})$$

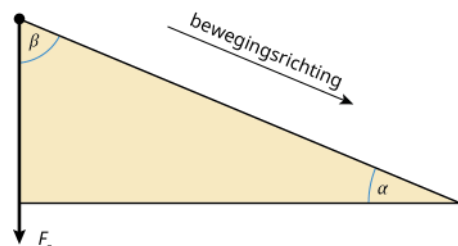
$$\text{Invullen levert: } W_{\text{trek}} = 7,280 \cdot 10^3 \times 84 \times \cos(0^\circ) = 6,115 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_{\text{trek}} = 6,1 \cdot 10^5 \text{ J.}$$

Opgave 5

- a ► De hellingshoek α bereken je met de tophoek β van de helling.

$$\alpha = 90^\circ - \beta \quad (\text{zie figuur 8.3})$$



Figuur 8.3

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- De tophoek β bereken je met de formule voor de arbeid.

$$W_z = F_z \cdot s \cdot \cos(\beta)$$

$$W_z = 1,2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$F_z = m \cdot g = 80 \times 9,81 = 785 \text{ N}$$

$$s = 60 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 1,2 \cdot 10^4 = 785 \times 60 \times \cos(\beta)$$

$$\cos(\beta) = \frac{1,2 \cdot 10^4}{785 \times 60} = 0,255$$

$$\beta = 75,2^\circ$$

$$\text{Dus } \alpha = 90 - 75,2^\circ = 14,8^\circ.$$

$$\text{Afgerond: } \alpha = 15^\circ.$$

- b ► De arbeid W_z verricht door de zwaartekracht bereken je met de formule voor de arbeid verricht door de zwaartekracht.

$$W_z = -F_z \cdot h \quad (\text{Negatief: het beginpunt is lager dan het eindpunt.})$$

F_z is hetzelfde.

h is hetzelfde.

$$\text{Dus } W_z = -1,2 \cdot 10^4 \text{ J bij het omhoog rijden van de helling.}$$

- c ► De arbeid W_{spier} verricht door de spierkracht bereken je met de formule voor de arbeid.

$$W_{\text{spier}} = F_{\text{spier}} \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

$$s = 60 \text{ m}$$

$$\alpha = 0^\circ \quad (\text{De richting van de spierkracht is hetzelfde als de bewegingsrichting.})$$

- F_{spier} bereken je met de eerste wet van Newton en de krachten evenwijdig aan de helling.

$$F_{\text{res},//} = 0 \text{ N en } \vec{F}_{\text{res},//} = \vec{F}_{z,//} + \vec{F}_{\text{spier}} + \vec{F}_w$$

De richting van F_{spier} is in de bewegingsrichting. De richtingen van $F_{z,//}$ en F_w zijn tegengesteld aan de bewegingsrichting.

$$F_{\text{spier}} = F_{z,//} + F_w$$

$$F_{\text{spier}} \text{ is dus groter dan } F_{z,//}.$$

- Invullen van F_{spier} , s en α in de formule $W_{\text{spier}} = F_{\text{spier}} \cdot s \cdot \cos(\alpha)$:

$$W_{\text{spier}} = (F_{\text{spier}} \text{ is groter dan } F_{z,//}) \cdot (s \text{ is gelijk}) \cdot \cos(0^\circ)$$

$$W_{\text{spier}} \text{ is dus groter dan } W_z \text{ en dus groter dan } 1,2 \cdot 10^4 \text{ J.}$$

Opgave 6

- a ► In welke situatie de zwaartekracht de minste arbeid W_z heeft verricht, leg je uit met de formule voor de arbeid verricht door de zwaartekracht.

$$W_z = F_z \cdot h \quad (\text{Positief: het beginpunt is in alle vier situaties hoger dan het eindpunt.})$$

F_z is in alle situaties even groot.

- De grootte van h bepaal je met het hoogteverschil tussen het beginpunt en het eindpunt van de beweging.

In figuur 12c is het hoogteverschil h het kleinst.

Dus in de situatie van figuur 12c verricht de zwaartekracht de minste arbeid.

- b ► In welke situatie de luchtweerstandskracht de minste arbeid $W_{w,l}$ heeft verricht, leg je uit met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_{w,l} = -F_{w,l} \cdot s$$

$F_{w,l}$ is in alle figuren even groot.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- De grootte van s bepaal je met de afgelegde weg tussen het beginpunt en het eindpunt van de beweging.

In figuur 12d is de afgelegde weg s het kleinst.

Dus in de situatie van figuur 12d verricht de luchtweerstandskracht de minste arbeid.

Opgave 7

- a ► Of de normaalkracht F_n kleiner dan, groter dan of gelijk is aan de zwaartekracht F_z bereken je met de eerste wet van Newton en de krachten in de verticale richting.

De slee beweegt niet in de verticale richting. Dus geldt volgens de eerste wet van Newton $F_{\text{res,vert}} = 0 \text{ N}$.

Er werken drie krachten in de verticale richting: de zwaartekracht omlaag, de normaalkracht omhoog en de component van de trekkracht $F_{\text{trek,vert}}$ omhoog.

Hieruit volgt $F_z = F_n + F_{\text{trek,vert}}$.

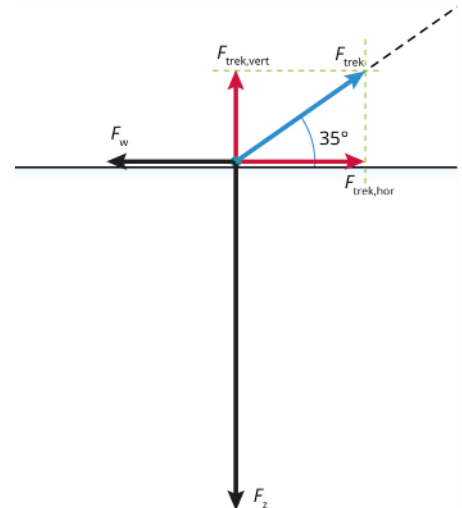
$$F_n = F_z - F_{\text{trek,vert}}$$

Dus F_n is kleiner dan F_z .

- b ► De trekkracht F_{trek} bereken je met een goniometrische verhouding.

Zie figuur 8.4.

$$\cos(35^\circ) = \frac{F_{\text{trek,hor}}}{F_{\text{trek}}}$$

Figuur 8.4

- De horizontale component van de trekkracht $F_{\text{trek,hor}}$ bereken je met de eerste wet van Newton en de krachten in de horizontale richting.

$$F_{\text{res,hor}} = 0 \text{ N en } \vec{F}_{\text{res,hor}} = \vec{F}_w + \vec{F}_{\text{trek,hor}}$$

De richting van $F_{\text{trek,hor}}$ is in de bewegingsrichting. De richting van F_w is tegengesteld aan de bewegingsrichting.

Dus $F_{\text{trek,hor}} = F_w = 80 \text{ N}$.

- Invullen van $F_{\text{trek,hor}}$ in de formule $\cos(35^\circ) = \frac{F_{\text{trek,hor}}}{F_{\text{trek}}}$:

$$\cos(35^\circ) = \frac{80}{F_{\text{trek}}}$$

$$F_{\text{trek}} = \frac{80}{\cos(35^\circ)} = 97,66 \text{ N}$$

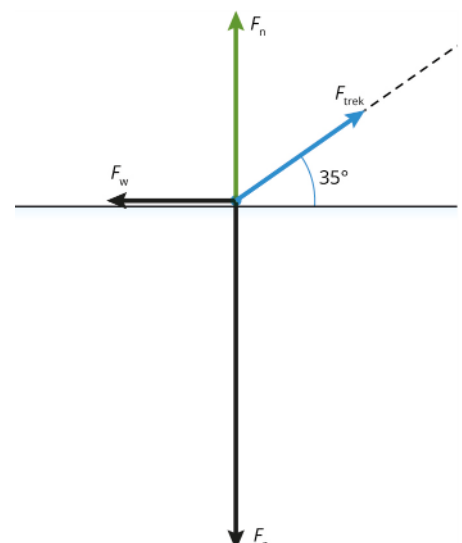
Afgerond: $F_{\text{trek}} = 98 \text{ N}$.

- c ► De som van de arbeid verricht door alle krachten ΣW bereken je door de arbeid die alle krachten verrichten bij elkaar op te tellen.

Zie figuur 8.5 voor een schets van de situatie.

$$\Sigma W = W_{\text{trek}} + W_{w,s} + W_z + W_n$$

$W_z = 0 \text{ J}$ en $W_n = 0 \text{ J}$ (Elk van deze krachten staat loodrecht op de bewegingsrichting.)

Figuur 8.5

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- De arbeid W_{trek} die de trekkracht heeft verricht bereken je met de formule voor de arbeid.

$$W_{\text{trek}} = F_{\text{trek}} \cdot s \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{\text{trek}} = 98 \text{ N}$$

$$s = 60 \text{ m}$$

$$\alpha = 35^\circ$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{trek}} = 98 \times 60 \times \cos(35^\circ) = 4,817 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_{\text{trek}} = 4,8 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

- De arbeid $W_{w,s}$ die de schuifwrijvingskracht heeft verricht, bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_{w,s} = -F_{w,s} \cdot s$$

$$F_{w,s} = 80 \text{ N}$$

$$s = 60 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_{w,s} = -80 \times 60 = -4,800 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_{w,s} = -4,0 \cdot 10^2 \text{ J.}$$

- Invullen van de arbeid van alle krachten in de formule $\Sigma W = W_{\text{trek}} + W_{w,s} + W_z + W_n$:

$$\Sigma W = 4,8 \cdot 10^3 + (-4,8 \cdot 10^3) + 0 + 0 = 0 \text{ J}$$

Dus $\Sigma W = 0 \text{ J}$ geldt ook voor de slee met Marijn.

Opgave 8

- a ► Dat de veer 3,0 cm is uitgerekt, toon je aan met de formule voor de veerkracht.

$$F_v = C \cdot u$$

$$C = 14 \text{ N m}^{-1}$$

- De veerkracht F_v bereken je met de eerste wet van Newton.

In de verticale richting werken de veerkracht en de zwaartekracht.

$$F_v = F_z \quad (\text{Het blokje is in rust, dus } F_{\text{res}} = 0 \text{ N.})$$

$$F_z = m \cdot g = 42,8 \cdot 10^{-3} \times 9,81 = 0,4199 \text{ N} \quad (m = 42,8 \text{ g} = 42,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg})$$

$$\text{Dus } F_v = 0,4199 \text{ N.}$$

- Invullen van F_v en C in de formule $F_v = C \cdot u$:

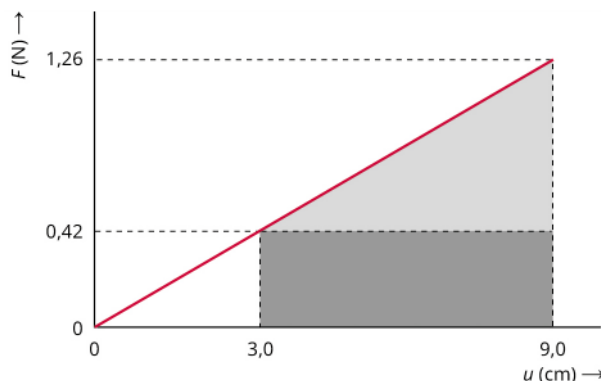
$$0,4199 = 14 \cdot u$$

$$u = \frac{0,4199}{14} = 3,000 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,000 \text{ cm}$$

$$\text{Afgerond: } u = 3,0 \text{ cm.}$$

- b ► De arbeid W_{trek} verricht door de trekkracht bepaal je met de oppervlakte onder de (F,u) -grafiek tussen $u = 3,0 \text{ cm}$ en $9,0 \text{ cm}$.

Zie de arceringen in figuur 8.6.



De oppervlakte onder de grafiek tussen $u = 3,0 \text{ s}$ en $u = 9,0 \text{ s}$ is een driehoek plus een rechthoek

$$W_{\text{trek}} = \frac{1}{2} \times (1,26 - 0,42) \times (9,0 - 3,0) \cdot 10^{-2} +$$

$$0,42 \times (9,0 - 3,0) \cdot 10^{-2} = 5,040 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_{\text{trek}} = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ J.}$$

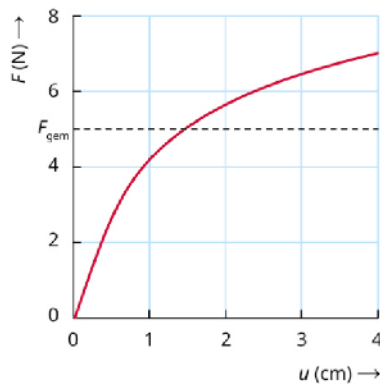
Figuur 8.6

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- c ► De arbeid W_{trek} die de trekkracht verricht, bepaal je met de oppervlakte onder de grafiek in het (F, u) -diagram.

De oppervlakte is gelijk aan de oppervlakte onder de lijn F_{gem} .

Zie figuur 8.7.



Figuur 8.7

$$W_{\text{trek}} = F_{\text{gem}} \cdot s$$

$$F_{\text{gem}} = 5,0 \text{ N}$$

$$s = 4,0 \text{ cm} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{trek}} = 5,0 \times 4,0 \cdot 10^{-2} = 0,2000 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_{\text{trek}} = 0,20 \text{ J.}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

8.2 Arbeid en kinetische energie**Opgave 9**

- Waardoor de kinetische energie niet verandert, terwijl de spierkracht positieve arbeid verricht, leg je uit met de wet van arbeid en kinetische energie.

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$\Delta E_k = 0 \text{ J} \quad (E_{k,\text{eind}} = E_{k,\text{begin}}, \text{ want de snelheid is constant.})$$

$$\text{Dus } \Sigma W = 0 \text{ J.}$$

- Waardoor $\Sigma W = 0 \text{ J}$ beredeneer je met de som van de arbeid van de krachten op de kist in de bewegingsrichting.

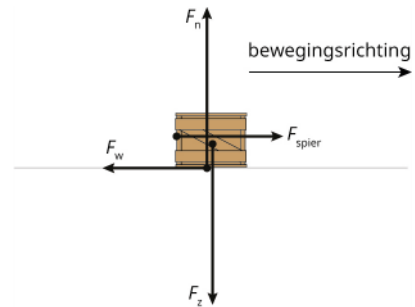
Zie figuur 8.8 voor een schets van alle krachten op de kist.

$$\Sigma W = W_{\text{spier}} + W_w \quad (W_n = 0 \text{ J en } W_z = 0 \text{ J})$$

$$W_{\text{spier}} = F_{\text{spier}} \cdot s \quad (\text{Positief: richting } F_{\text{spier}} \text{ is gelijk aan de bewegingsrichting.})$$

$$W_w = -F_w \cdot s \quad (\text{Negatief: richting } F_w \text{ is tegengesteld aan de bewegingsrichting.})$$

$$\text{Invullen levert: } \Sigma W = F_{\text{spier}} \cdot s + (-F_w \cdot s) = F_{\text{spier}} \cdot s - F_w \cdot s$$



Figuur 8.8

Omdat de kist met constante snelheid beweegt, geldt volgens de eerste wet van Newton $F_{\text{res}} = 0 \text{ N}$.

Dus de weerstandskrachten F_w zijn samen even groot als de spierkracht F_{spier} , maar tegengesteld gericht.

$$F_w = F_{\text{spier}}$$

$$\text{Dus } F_{\text{spier}} \cdot s - F_w \cdot s = 0 \text{ J.}$$

Dus de kinetische energie verandert niet, omdat de positieve arbeid verricht door de spierkracht dezelfde grootte heeft als de negatieve arbeid verricht door de weerstandskrachten.

Opgave 10

- a ► Dat de eenheid van newtonmeter uitgedrukt in de grondeenheden van het SI gelijk is aan $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, toon je aan met behulp van Binas tabel 4.

$$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 4 bij kracht})$$

$$\text{Dus } \text{N} \cdot \text{m} = (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}) \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

- b ► Dat de eenheid van $\frac{1}{2} m \cdot v^2$ gelijk is aan newtonmeter toon je aan door de eenheden van de grootheden uit te drukken in grondeenheden van het SI.

$$\left[\frac{1}{2} m \cdot v^2 \right] = [m] \cdot [v^2] \quad (\text{Een getal zoals } \frac{1}{2} \text{ heeft geen eenheid, } \left[\frac{1}{2} \right] = 1.)$$

$$[m] = \text{kg}$$

$$[v^2] = (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Invullen levert: } \left[\frac{1}{2} m \cdot v^2 \right] = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

Volgens de uitleg bij vraag a komt $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ overeen met newtonmeter.

Dus de eenheid van $\frac{1}{2} m \cdot v^2$ is gelijk aan newtonmeter.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- c ► De gemiddelde remkracht bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.
Zie figuur 8.9 voor een schets van de situatie met alle krachten op de honkbal.

**Figuur 8.9**

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$W_{\text{rem}} = \Delta E_k \quad (W_n = 0 \text{ J en } W_z = 0 \text{ J})$$

- W_{rem} bereken je met een van de speciale formules voor de arbeid.

$$W_{\text{rem}} = -F_{\text{rem}} \cdot s \quad (\text{Negatief: de richting van } F_{\text{rem}} \text{ is tegengesteld aan de bewegingsrichting.})$$

$$s = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{rem}} = -F_{\text{rem}} \cdot 0,10$$

- ΔE_k bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$m = 150 \text{ g} = 0,150 \text{ kg}$$

$$v_{\text{eind}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{begin}} = 50 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 0 - \frac{1}{2} \times 0,150 \times 50^2 = -1,875 \cdot 10^2 \text{ J}$$

- Invullen van W_{rem} en E_k in de formule $W_{\text{rem}} = \Delta E_k$:

$$-F_{\text{rem}} \cdot 0,10 = -1,875 \cdot 10^2$$

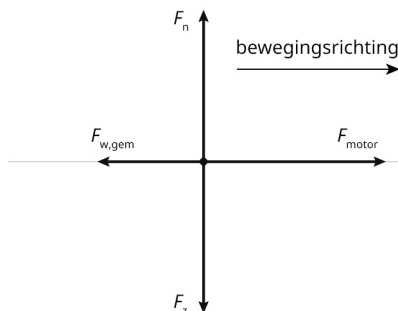
$$F_{\text{rem}} = \frac{-1,875 \cdot 10^2}{-0,10} = 1,875 \cdot 10^3$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{rem}} = 1,9 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

Opgave 11

- De kracht F_{motor} die de motoren moeten leveren bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.

Zie figuur 8.10 voor een schets van alle krachten op het vliegtuig.

**Figuur 8.10**

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$W_{\text{motor}} + W_{\text{w,gem}} = \Delta E_k \quad (W_n = 0 \text{ J en } W_z = 0 \text{ J})$$

► W_{motor} verricht door de motorkracht bereken je met een van de speciale formules voor de arbeid.

$$W_{\text{motor}} = F_{\text{motor}} \cdot s \quad (\text{Positief: de richting van } F_{\text{motor}} \text{ is gelijk aan de bewegingsrichting.})$$

$$s = 3,0 \text{ km} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{motor}} = F_{\text{motor}} \cdot 3,0 \cdot 10^3$$

► $W_{\text{w,gem}}$ verricht door de gemiddelde wrijvingskracht bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_{\text{w,gem}} = -F_{\text{w,gem}} \cdot s$$

$$F_{\text{w,gem}} = 12 \text{ kN} = 12 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$s = 3,0 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{w,gem}} = -12 \cdot 10^3 \times 3,0 \cdot 10^3 = -3,60 \cdot 10^7 \text{ J}$$

► ΔE_k bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$m = 45 \text{ ton} = 45 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{\text{eind}} = 250 \text{ km h}^{-1} = \frac{250}{3,6} = 69,44 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = \frac{1}{2} \times 45 \cdot 10^3 \times 69,44^2 - \frac{1}{2} \times 45 \cdot 10^3 \times 0^2 = 1,08 \cdot 10^8 \text{ J}$$

► Invullen van W_{motor} , $W_{\text{w,gem}}$ en ΔE_k in de formule $W_{\text{motor}} + W_{\text{w,gem}} = \Delta E_k$:

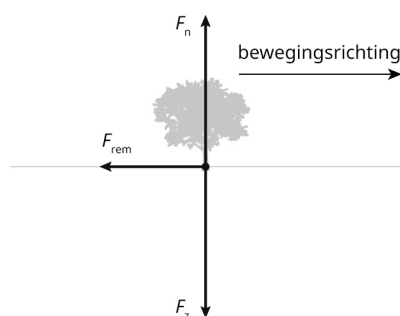
$$F_{\text{motor}} \cdot 3,0 \cdot 10^3 - 3,60 \cdot 10^7 = 1,085 \cdot 10^8$$

$$F_{\text{motor}} = \frac{1,08 \cdot 10^8 + 3,60 \cdot 10^7}{3,0 \cdot 10^3} = 4,800 \cdot 10^4 \text{ N} = 48,00 \text{ kN}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{motor}} = 48 \text{ kN.}$$

Opgave 12

- a ► De formule leid je af met de wet van arbeid en kinetische energie.
Zie figuur 8.11 voor een schets van alle krachten op de auto.



Figuur 8.11

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$W_{\text{rem}} = \Delta E_k \quad (W_n = 0 \text{ J en } W_z = 0 \text{ J})$$

W_{rem} verricht door de remkracht bereken je met een van de speciale formules voor de arbeid.

$$W_{\text{rem}} = -F_{\text{rem}} \cdot s \quad (\text{Negatief: de richting van } F_{\text{rem}} \text{ is tegengesteld aan de bewegingsrichting.})$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- ΔE_k bereken je met de formule voor de verandering van de kinetische energie.

$$\Delta E_k = E_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}}$$

$$E_{k,\text{eind}} = 0 \text{ J} \quad (\text{De auto komt tot stilstand.})$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_k = 0 - E_{k,\text{begin}} = -E_{k,\text{begin}}$$

- Invullen van W_{rem} en ΔE_k in de formule $W_{\text{rem}} = \Delta E_k$:

$$-F_{\text{rem}} \cdot s_{\text{rem}} = -E_{k,\text{begin}}$$

$$\text{Hieruit volgt } F_{\text{rem}} = \frac{E_{k,\text{begin}}}{s_{\text{rem}}}.$$

- b ► De kracht F_{rem} op Mark bereken je met de formule bij vraag a.

$$F_{\text{rem}} = \frac{E_{k,\text{begin}}}{s_{\text{rem}}}$$

$$s_{\text{rem}} = 4,0 \text{ cm} = 0,040 \text{ m}$$

- De kinetische energie $E_{k,\text{begin}}$ bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,\text{begin}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$v_{\text{begin}} = 80 \text{ km h}^{-1} = \frac{80}{3,6} = 22,2 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{k,\text{begin}} = \frac{1}{2} \times 70 \times 22,2^2 = 1,72 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- Invullen van $E_{k,\text{begin}}$ en s in de formule $F_{\text{rem}} = \frac{E_{k,\text{begin}}}{s_{\text{rem}}}$:

$$F_{\text{rem}} = \frac{1,72 \cdot 10^4}{0,40} = 4,300 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{rem}} = 4,3 \cdot 10^5 \text{ N.}$$

- c ► Wat er met de kracht F_{rem} op Mark gebeurt als een veiligheidsgordel wordt gebruikt, leg je uit met de formule bij vraag a.

$$F_{\text{rem}} = \frac{E_{k,\text{begin}}}{s_{\text{rem}}}$$

$E_{k,\text{begin}}$ blijft gelijk, want de massa en de beginsnelheid veranderen niet.

s wordt tien keer zo groot.

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{rem}} = \frac{(E_{k,\text{begin}} \text{ blijft gelijk})}{(s_{\text{rem}} \text{ wordt tien keer zo groot})}$$

F_{rem} wordt dus tien keer zo klein.

Dus de kracht F_{rem} op Mark wordt tien keer zo klein.

- d ► Waarom de gordel niet te los of te strak mag zijn afgesteld, leg je uit met de formule bij vraag a.

$$F_{\text{rem}} = \frac{E_{k,\text{begin}}}{s_{\text{rem}}}$$

– s is erg klein als de gordel te strak zit.

E_k blijft gelijk, want de beginsnelheid (en de eindsnelheid) veranderen niet.

$$\text{Invullen levert: } F_{\text{rem}} = \frac{(E_{k,\text{begin}} \text{ blijft gelijk})}{(s_{\text{rem}} \text{ is erg klein})}$$

F_{rem} wordt dus erg groot en daardoor de remkracht op Mark ook.

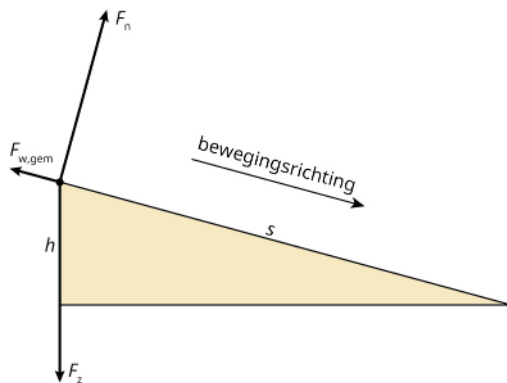
– s is erg groot als de gordel te los zit. Dan zou je pas tegen de voorruit tot stilstand kunnen komen.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 13

- De gemiddelde tegenwerkende kracht $F_{w,gem}$ uitgeoefend op de auto bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.

Zie figuur 8.12 voor een schets van alle krachten op de auto.

**Figuur 8.12**

$$\Sigma W = \Delta E_k = E_{k,eind} - E_{k,begin} = \frac{1}{2} m \cdot v_{eind}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{begin}^2$$

$$W_z + W_{w,gem} = \frac{1}{2} m \cdot v_{eind}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{begin}^2$$

$$m = 980 \text{ kg}$$

$$v_{eind} = 80 \text{ km h}^{-1} = \frac{80}{3,6} = 22,2 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{begin} = 120 \text{ km h}^{-1} = \frac{120}{3,6} = 33,33 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } W_z + W_{w,gem} = \frac{1}{2} \times 980 \times 22,2^2 - \frac{1}{2} \times 980 \times 33,33^2 = -3,028 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- De arbeid W_z bereken je met de formule voor de arbeid verricht door de zwaartekracht.

$$W_z = F_z \cdot h \quad (\text{Positief: het beginpunt is hoger dan het eindpunt.})$$

$$F_z = m \cdot g = 980 \times 9,81 = 9,614 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

- De hoogte h bereken je met een goniometrische verhouding.

$$\sin(\alpha) = \frac{h}{s} \quad (\text{zie figuur 8.12})$$

$$s = 100 \text{ m}$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$\text{Invullen levert: } \sin(10^\circ) = \frac{h}{100}$$

$$h = 100 \times \sin(10^\circ) = 17,4 \text{ m}$$

- Invullen van F_z en h in de formule $W_z = F_z \cdot h$:

$$W_z = 9,614 \cdot 10^3 \times 17,36 = 1,6690 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- De arbeid $W_{w,gem}$ bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_{w,gem} = -F_{w,gem} \cdot s$$

$$s = 100 \text{ m}$$

- Invullen van W_z en $W_{w,gem}$ in de formule $W_z + W_{w,gem} = -3,028 \cdot 10^5 \text{ J}$

$$-F_{w,gem} \cdot 100 + 1,6690 \cdot 10^5 = -3,028 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$F_{w,gem} = \frac{-3,028 \cdot 10^5 - 1,6690 \cdot 10^5}{-100} = 4,6970 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,gem} = 4,7 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

Opgave 14

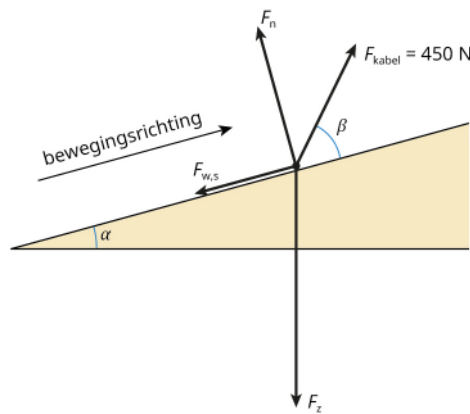
- De schuifwrijvingskracht $F_{w,s}$ bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_{w,s} = -F_{w,s} \cdot s$$

$$s = 150 \text{ m}$$

- De arbeid $W_{w,s}$ bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.

Zie figuur 8.13 voor een schets van alle krachten op de skiër.

**Figuur 8.13**

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$W_{\text{kabel}} + W_{w,s} + W_z = 0 \quad (W_n = 0 \text{ J en } \Delta E_k = 0 \text{ J want Mike beweegt met constante snelheid.})$$

- De arbeid W_{kabel} bereken je met de formule voor de arbeid.

$$W_{\text{kabel}} = F_{\text{kabel}} \cdot s \cdot \cos(\beta)$$

$$F_{\text{kabel}} = 450 \text{ N}$$

$$s = 150 \text{ m}$$

$$\beta = 40^\circ$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{kabel}} = 450 \times 150 \times \cos(40^\circ) = 5,17 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- De arbeid W_z bereken je met de formule voor de arbeid verricht door de zwaartekracht.

$$W_z = -F_z \cdot h \quad (\text{Negatief: beginpunt is lager dan eindpunt.})$$

$$F_z = m \cdot g = 65 \times 9,81 = 6,38 \cdot 10^2 \text{ N}$$

- Het hoogteverschil h bereken je met een goniometrische verhouding.

Zie figuur 8.14.

**Figuur 8.14**

$$\sin(\alpha) = \frac{h}{s}$$

$$s = 150 \text{ m}$$

$$\alpha = 25^\circ$$

$$\text{Invullen levert: } \sin(25^\circ) = \frac{h}{150}$$

$$h = 150 \times \sin(25^\circ) = 63,39 \text{ m}$$

- Invullen van F_z en h in de formule $W_z = F_z \cdot h$:

$$W_z = 6,38 \cdot 10^2 \times 63,39 = 4,0443 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- Invullen van W_{kabel} en W_z in de formule $W_{\text{kabel}} + W_{w,s} + W_z = 0$:

$$5,17 \cdot 10^4 + W_{w,s} + 4,0443 \cdot 10^4 = 0$$

$$W_{w,s} = -9,214 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- Invullen van $W_{w,s}$ en s in de formule $W_{w,s} = -F_{w,s} \cdot s$:

$$-9,214 \cdot 10^4 = -F_{w,s} \cdot 150$$

$$F_{w,s} = \frac{-9,214 \cdot 10^4}{-150} = 6,1427 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,s} = 6,1 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

Opgave 15

- De snelheid na 25 m bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,\text{eind}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$$

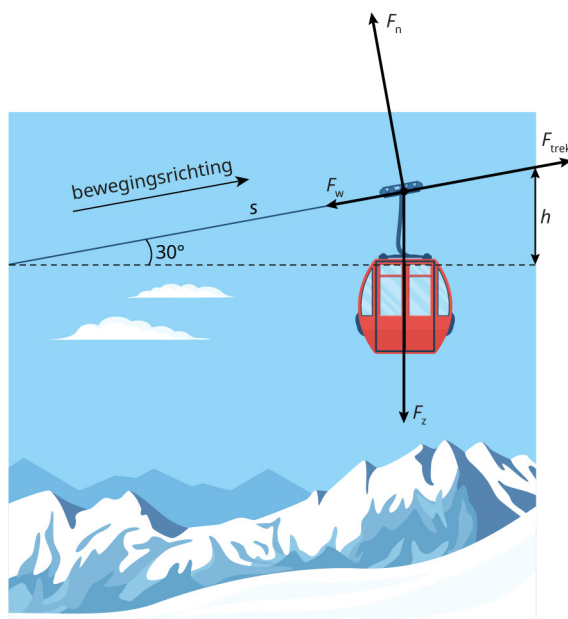
$$m = 1,2 \text{ ton} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

- De kinetische energie $E_{k,\text{eind}}$ bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.

$$\Sigma W = \Delta E_k = E_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}}$$

$$\Sigma W = E_{k,\text{eind}} \quad (E_{k,\text{begin}} = 0 \text{ J want de gondel start vanuit stilstand.})$$

Zie figuur 8.15 voor een schets van alle krachten op de gondel.



Figuur 8.15

$$\Sigma W = W_{\text{trek}} + W_w + W_z \quad (W_n = 0 \text{ J})$$

- W_{trek} bereken je met een van de speciale formules voor de arbeid.

$$W_{\text{trek}} = F_{\text{trek}} \cdot s \quad (\text{Positief: de richting van } F_{\text{trek}} \text{ is gelijk aan de bewegingsrichting.})$$

$$F_{\text{trek}} = 7,5 \text{ kN} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$s = 25 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{trek}} = 7,5 \cdot 10^3 \times 25 = 1,88 \cdot 10^5 \text{ J}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- W_w bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_w = -F_w \cdot s$$

$$F_w = 1,13 \text{ kN} = 1,13 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$s = 25$$

$$\text{Invullen levert: } W_w = -1,13 \cdot 10^3 \times 25 = -2,83 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- W_z bereken je met de formule voor de arbeid door de zwaartekracht.

$$W_z = -F_z \cdot h \text{ (Negatief: het beginpunt ligt lager dan het eindpunt.)}$$

$$F_z = m \cdot g = 1,2 \cdot 10^3 \times 9,81 = 1,18 \cdot 10^4 \text{ N}$$

- De hoogte h bereken je met een goniometrische verhouding.

$$\sin(30^\circ) = \frac{h}{s} \text{ (zie figuur 8.14)}$$

$$s = 25 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \sin(30^\circ) = \frac{h}{25}$$

$$h = 25 \times \sin(30^\circ) = 12,5 \text{ m}$$

- Invullen van F_z en h in de formule $W_z = -F_z \cdot h$:

$$W_z = -1,18 \cdot 10^4 \times 12,5 = -1,475 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- Invullen van W_{trek} , W_w , en W_z in de formule $\Sigma W = W_{\text{trek}} + W_w + W_z$:

$$\Sigma W = 1,88 \cdot 10^5 + (-2,83 \cdot 10^4) + (-1,475 \cdot 10^5) = 1,220 \cdot 10^4 \text{ J}$$

- Invullen van ΣW en m in de formule $\Sigma W = E_{k,\text{eind}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$:

$$1,220 \cdot 10^4 = \frac{1}{2} \times 1,2 \cdot 10^3 \cdot v_{\text{eind}}^2$$

$$v_{\text{eind}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,22 \cdot 10^4}{1,2 \cdot 10^3}} = 4,509 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_{\text{eind}} = 4,5 \text{ m s}^{-1}.$$

Opgave 16

- a ► De bewegingsenergie van de trein na 60 s bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,\text{eind}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$$

$$m = 3,69 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

- De snelheid v_{eind} bereken je met de formule voor (gemiddelde) versnelling.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}}{\Delta t}$$

$$a = 0,89 \text{ m s}^{-2}$$

$$v_{\text{begin}} = 0 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta t = 60 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,89 = \frac{v_{\text{eind}} - 0}{60}$$

$$v_{\text{eind}} = 0,89 \times 60 = 53,4 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van m en v_{eind} in de formule $E_{k,\text{eind}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2$:

$$E_{k,\text{eind}} = \frac{1}{2} \times 3,69 \cdot 10^5 \times 53,4^2 = 5,261 \cdot 10^8 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E_{k,\text{eind}} = 5,3 \cdot 10^8 \text{ J}.$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- b ► Dat de totale arbeid ΣW berekend kan worden met $3,3 \cdot 10^8 \cdot s$, toon je aan met de arbeid verricht door de resulterende kracht.
- $$\Sigma W = W_{\text{res}} = F_{\text{res}} \cdot s \quad (\text{Positief, de richting van } F_{\text{res}} \text{ is gelijk aan de bewegingsrichting.})$$
- De resulterende kracht F_{res} bereken je met de tweede wet van Newton.
- $$F_{\text{res}} = m \cdot a$$
- $$m = 3,69 \cdot 10^5 \text{ kg}$$
- $$a = 0,89 \text{ m s}^{-2}$$
- Invullen levert: $F_{\text{res}} = 3,69 \cdot 10^5 \times 0,89 = 3,28 \cdot 10^5 \text{ N}$
- Invullen van F_{res} in de formule $\Sigma W = F_{\text{res}} \cdot s$:
- $$\Sigma W = 3,28 \cdot 10^5 \cdot s$$
- Afgerond: $\Sigma W = 3,3 \cdot 10^5 \cdot s$.
- c De afstand die de trein aflegt in de eerste 60 s bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.
- $$\Sigma W = \Delta E_k$$
- $$\Sigma W = 3,3 \cdot 10^5 \cdot s$$
- $$\Delta E_k = E_{k,\text{eind}} - E_{k,\text{begin}} = 5,3 \cdot 10^8 - 0 = 5,3 \cdot 10^8 \text{ J}$$
- Invullen levert: $3,3 \cdot 10^5 \cdot s = 5,3 \cdot 10^8$
- $$s = \frac{5,3 \cdot 10^8}{3,3 \cdot 10^5} = 1,606 \cdot 10^3 \text{ m}$$
- Afgerond: $s = 1,6 \cdot 10^3 \text{ m} = 1,6 \text{ km}$.
- d ► Dat de arbeid $W_{\text{motor},60}$ verricht door de motorkracht gedurende de zestigste seconde groter is dan de arbeid $W_{\text{motor},1}$ gedurende de eerste seconde leg je uit door $W_{\text{motor},60}$ te vergelijken met $W_{\text{motor},1}$.
- $$W_{\text{motor}} = F_{\text{motor}} \cdot s \quad (\text{De richting van de spierkracht is hetzelfde als de bewegingsrichting, } \cos(0^\circ) = 1.)$$
- Of $F_{\text{motor},60}$ gedurende de zestigste seconde groter dan, kleiner dan of gelijk is aan $F_{\text{motor},1}$ gedurende de eerste seconde leg je uit met de krachten die werken in de bewegingsrichting.
- Op de magneetzwieftrein werken de motorkracht in de bewegingsrichting en de luchtweerstandskracht tegengesteld aan de bewegingsrichting.
- $$F_{\text{res,hor}} = F_{\text{motor}} - F_{w,l}$$
- $F_{\text{res,hor}}$ is gelijk. ($F_{\text{res,hor}} = m \cdot a$ en m en a zijn gelijk.)
- $F_{w,l}$ is groter, omdat tijdens de zestigste seconde de snelheid groter is.
- Invullen levert: ($F_{\text{res,hor}}$ is gelijk) $= F_{\text{motor}} - (F_{w,l} \text{ is groter})$
- Dus $F_{\text{motor},60}$ is groter dan $F_{\text{motor},1}$.
- Of s_{60} gedurende de zestigste seconde groter dan, kleiner dan of gelijk is aan s_1 gedurende de eerste seconde leg je uit met de formule voor de gemiddelde snelheid.
- $$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$
- De snelheid neemt toe tijdens de rit. Dus gedurende de zestigste seconde is de gemiddelde snelheid groter dan gedurende de eerste seconde. Omdat de tijdsduur Δt hetzelfde is, is de verplaatsing $s_{60} = \Delta x_{60}$ groter dan $s_1 = \Delta x_1$.
- Invullen van de veranderingen van F_{motor} en s_{motor} in de formule $W_{\text{motor}} = F_{\text{motor}} \cdot s$:
- $$W_{\text{motor}} = (F_{\text{motor},60} \text{ groter dan } F_{\text{motor},1}) \cdot (s_{\text{motor},60} \text{ groter dan } s_{\text{motor},1})$$
- Dus $W_{\text{motor},60}$ is groter dan $W_{\text{motor},1}$.

8.3 Wet behoud van energie

Opgave 17

- a – ► De arbeid die de zwaartekracht verricht, bereken je met de formule voor de arbeid verricht door de zwaartekracht.

$$W_z = F_z \cdot h \text{ of } W_z = -F_z \cdot h$$

$$F_z = m \cdot g = 58 \times 9,81 = 569 \text{ N}$$

$$\text{Invullen levert: } W_z = 569 \cdot h \text{ of } W_z = -569 \cdot h$$

- ► De toename of afname van de zwaarte-energie beredeneer je met het teken van de arbeid door de zwaartekracht.

Als de zwaartekracht positieve arbeid verricht, neemt de zwaarte-energie af. Verricht de zwaartekracht negatieve arbeid, dan neemt de zwaarte-energie toe.

- I van H naar O

$$h = 13 \text{ m}$$

W_z is positief, want het beginpunt H ligt hoger dan het eindpunt O.

$$\text{Invullen levert: } W_z = 58 \times 9,81 \times 13 = 7,397 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_z = 7,4 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

De zwaartekracht verricht positieve arbeid. Daardoor is er een afname van zwaarte-energie van $7,4 \cdot 10^3 \text{ J}$.

$$(\text{Dat wil zeggen: } \Delta E_z = E_{z,\text{eind}} - E_{z,\text{begin}} = 0 - 7,4 \cdot 10^3 = -7,4 \cdot 10^3 \text{ J.})$$

- II van L naar R

$$h = 0 \text{ m}$$

$$W_z = 0 \text{ J}$$

De zwaartekracht verricht geen arbeid. Daardoor is er geen afname of toename van de zwaarte-energie, $\Delta E_z = 0 \text{ J}$.

- III van R naar H

$$h = 6,5 \text{ m}$$

W_z is negatief, want het beginpunt R ligt lager dan het eindpunt H.

$$\text{Invullen levert: } W_z = -58 \times 9,81 \times 6,5 = -3,698 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_z = -3,7 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

De zwaartekracht verricht negatieve arbeid. Daardoor is er een toename van zwaarte-energie van $3,7 \cdot 10^3 \text{ J}$.

$$(\text{Dat wil zeggen: } \Delta E_z = E_{z,\text{eind}} - E_{z,\text{begin}} = 3,7 \cdot 10^3 - 0 = 3,7 \cdot 10^3 \text{ J.})$$

- IV van H geheel rond naar H

$$h = 0 \text{ m}$$

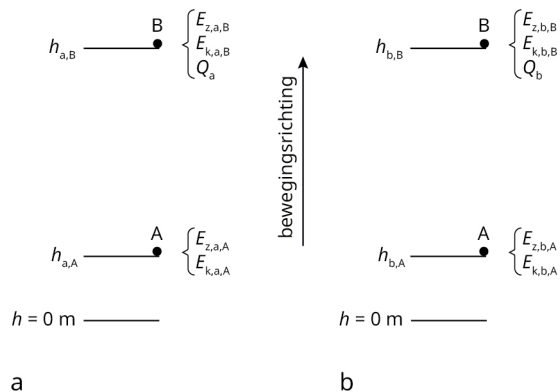
$$W_z = 0 \text{ J}$$

De zwaartekracht verricht geen arbeid. Daardoor is er geen afname of toename van de zwaarte-energie, $\Delta E_z = 0 \text{ J}$.

- b Als het rad in tegengestelde richting draait, heeft de zwaartekracht dezelfde waarde. De beginpunten en de eindpunten liggen in alle vier situaties op dezelfde plaats. Het hoogteverschil h blijft ook in alle situaties hetzelfde, dus de arbeid verricht door de zwaartekracht blijft ook hetzelfde. De antwoorden op vraag a blijven hetzelfde.

Opgave 18

- a ► De hoogte die het zwaartepunt kan bereiken leg je uit met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.16 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.16**

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

$$E_{z,A} + E_{k,A} = E_{z,B} + E_{k,B} + Q$$

$$E_{z,a,A} = E_{z,b,A} \quad (\text{Het zwaartepunt bij de afzet ligt even hoog.})$$

$$E_{k,a,A} = E_{k,b,A} \quad (\text{Loes heeft bij de afzet dezelfde snelheid.})$$

$$E_{k,a,B} = E_{k,b,B} \quad (\text{Loes heeft boven de lat dezelfde snelheid.})$$

$$Q_a = Q_b \quad (\text{Er ontstaat evenveel warmte door de wrijvingsarbeid.})$$

Invullen levert: $(E_{z,A} \text{ is gelijk}) + (E_{k,A} \text{ is gelijk}) = E_{z,B} + (E_{k,B} \text{ is gelijk}) + (Q \text{ is gelijk})$

Dus $E_{z,a,B} = E_{z,b,B}$.

Omdat $E_z = m \cdot g \cdot h$ betekent dit dat de maximale hoogte h_B die het zwaartepunt kan bereiken bij beide sprongen hetzelfde is.

Dus $h_{a,B} = h_{b,B}$.

- b ► Waarom Loes met de sprong in figuur 38b hoger kan springen leg je uit door de hoogte van de lat te vergelijken met de maximale hoogte die het zwaartepunt kan bereiken.

$h_{\text{zwaartepunt}}$ is gelijk.

Bij de sprong in figuur 38a ligt het zwaartepunt van Loes in haar lichaam (in de buurt van de navel). In figuur 38b ligt het zwaartepunt onder haar lichaam (in de kromming).

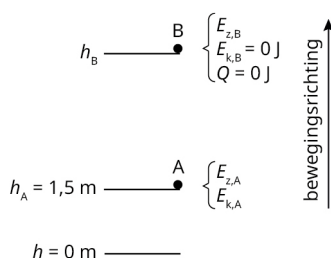
Dus in figuur 38a moet lat lager liggen dan in figuur 38b om te vermijden dat Loes tijdens de sprong tegen de lat aankomt.

Loes kan met de sprong in figuur 38b dus hoger springen.

(Bij een technisch perfect uitgevoerde fosburyflop gaat het zwaartepunt onder de lat door.)

Opgave 19

- a ► De maximale hoogte h_B bereken je met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.17 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.17**

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

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

$$E_{z,A} + E_{k,A} = E_{z,B}$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot h_A = m \cdot g \cdot h_B$$

$$\frac{1}{2} v_A^2 + g \cdot h_A = g \cdot h_B \quad (\text{na wegstrepen } m, \text{ want die komt in elke term voor})$$

$$h_A = 1,5 \text{ m}$$

$$v_A = 10 \text{ m s}^{-1}$$

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

$$\text{Invullen levert: } \frac{1}{2} \times 10^2 + 9,81 \times 1,5 = 9,81 \cdot h_B$$

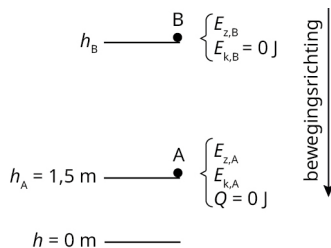
$$64,7 = 9,81 \cdot h_B$$

$$h_B = \frac{64,7}{9,81} = 6,595 \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } h_B = 6,6 \text{ m.}$$

- b ► De snelheid van het steentje als het weer terug is op 1,5 m hoogte ten opzichte van de grond bereken je met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.18 voor een schets van de situatie. B is de beginsituatie en A de eindsituatie.



Figuur 8.18

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

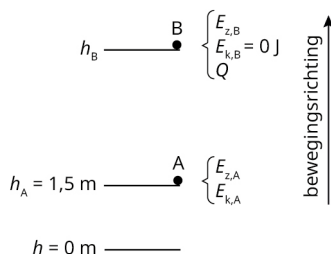
$$E_{z,B} = E_{z,A} + E_{k,A}$$

$E_{z,A}$ en $E_{z,B}$ hebben dezelfde waarden als bij vraag a (bij de beweging omhoog). Dus heeft $E_{k,A}$ ook dezelfde waarde als bij vraag a.

De snelheid van het steentje als het weer terug is op 1,5 m hoogte ten opzichte van de grond zal dus weer 10 m s^{-1} zijn.

- c ► Dat de maximale hoogte van het steentje ten opzichte van de grond kleiner is als de luchtweerstandskracht niet wordt verwaarloosd, leg je uit met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.19 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.19

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

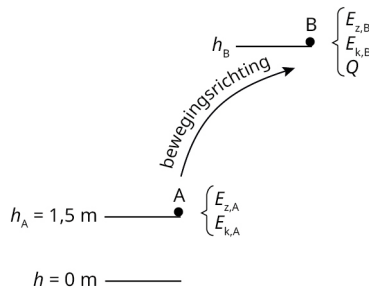
$$E_{z,A} + E_{k,A} = E_{z,B} + Q$$

$$m \cdot g \cdot h_A + \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = m \cdot g \cdot h_B + Q$$

Een deel van de totale energie in punt A wordt nu omgezet in warmte. De zwaarte-energie $E_{z,B}$ is dus kleiner. De hoogte h_B die het steentje bereikt is dan kleiner als je de luchtweerstandskracht niet mag verwaarlozen.

- d ► Dat een kleinere maximale hoogte wordt bereikt als Mira het steentje schuin omhoog gooit dan bij de verticale worp leg je uit met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.20 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.20

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

$$E_{z,A} + E_{k,A} = E_{z,B} + E_{k,B} + Q$$

In deze situatie heeft het steentje in het hoogste punt nog (horizontale) snelheid. Dus een deel van de totale energie in punt A wordt nu omgezet in kinetische energie $E_{k,B}$. Omdat de hoeveelheid warmte Q hetzelfde is, is de zwaarte-energie $E_{z,B}$ dus kleiner. De hoogte h_B die het steentje bereikt als het schuin omhoog is gegooit is dan kleiner dan bij een verticale worp.

Opgave 20

- a ► Dat de veer in de evenwichtsstand 3,92 cm uitgerekt is, toon je aan met de formule voor de veerkracht.

$$F_v = C \cdot u$$

$$C = 25,0 \text{ N m}^{-1}$$

- De veerkracht F_v bereken je met de eerste wet van Newton.

In de verticale richting werken de veerkracht en de zwaartekracht.

$$F_v = F_z \quad (\text{Het blokje is in rust, dus } F_{\text{res}} = 0 \text{ N.})$$

$$F_z = m \cdot g = 0,100 \times 9,81 = 0,981 \text{ N}$$

$$\text{Dus } F_v = 0,981 \text{ N.}$$

- Invullen van F_v en C in de formule $F_v = C \cdot u$:

$$0,981 = 25,0 \cdot u$$

$$u = \frac{0,981}{25,0} = 3,9240 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,9240 \text{ cm}$$

$$\text{Afgerond: } u = 3,92 \text{ cm.}$$

- b ► Dat de som van de zwaarte-energie en veerenergie met 0,019 J afneemt, laat je zien met het verschil in de energie in punt B (de evenwichtsstand) en de energie in punt A (ophangen van het blokje).

$$\Delta E_{A \rightarrow B} = (E_{z,B} + E_{v,B}) - (E_{z,A} + E_{v,A})$$

$$E_{v,A} = 0 \text{ J} \quad (\text{De veer is nog niet uitgerekt.})$$

$$E_{z,B} = 0 \text{ J} \quad (\text{In het laagste punt stel je de zwaarte-energie op 0 J.})$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E_{A \rightarrow B} = E_{v,B} - E_{z,A}$$

- De veerenergie $E_{v,B}$ bereken je met de formule voor de veerenergie.

$$E_{v,B} = \frac{1}{2} C \cdot u_B^2$$

$$C = 25,0 \text{ N m}^{-1}$$

$$u_B = 3,92 \text{ cm} = 3,92 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{v,B} = \frac{1}{2} \times 25 \times (3,92 \cdot 10^{-2})^2 = 0,01921 \text{ J}$$

- De zwaarte-energie $E_{z,A}$ bereken je met de formule voor de zwaarte-energie.

$$E_{z,A} = m \cdot g \cdot h_A$$

$$m = 0,100 \text{ kg}$$

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

$$h_A = 3,92 \text{ cm} = 3,92 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{Dit is de hoogte boven de evenwichtsstand.})$$

$$\text{Invullen levert: } E_{z,A} = 0,100 \times 9,81 \times 3,92 \cdot 10^{-2} = 0,03846 \text{ J}$$

- Invullen van $E_{v,B}$ en $E_{z,A}$ in de formule $\Delta E_{A \rightarrow B} = E_{v,B} - E_{z,A}$:

$$\Delta E_{A \rightarrow B} = 0,01921 - 0,03846 = -0,01925 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta E_{A \rightarrow B} = -0,019 \text{ J.}$$

Dus de som van de zwaarte-energie en veerenergie is met 0,019 J afgenomen.

- c ► Dat de som van de zwaarte-energie en veerenergie met 0,019 J toeneemt als de uitrekking verdubbelt, laat je zien met het verschil in de energie in punt C (uitrekking verdubbeld) en de energie in punt B (de evenwichtsstand).

$$\Delta E_{B \rightarrow C} = (E_{z,C} + E_{v,C}) - (E_{z,B} + E_{v,B})$$

$$E_{z,B} = 0 \text{ J}$$

$$E_{v,B} = 0,019 \text{ J}$$

- De zwaarte-energie $E_{z,C}$ bereken je met de formule voor de zwaarte-energie.

$$E_{z,C} = -m \cdot g \cdot h_C \quad (\text{Negatief, de hoogte van punt C ligt lager dan de hoogte van punt B.})$$

$$m = 0,100 \text{ kg}$$

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

$$h_C = 3,92 \text{ cm} = 3,92 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{z,C} = -0,100 \times 9,81 \times 3,92 \cdot 10^{-2} = -0,03846 \text{ J}$$

- De veerenergie $E_{v,C}$ bereken je met de formule voor de veerenergie.

$$E_{v,C} = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2$$

$$C = 25,0 \text{ N m}^{-1}$$

$$u_C = 2 \times 3,92 \text{ cm} = 7,84 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{v,C} = \frac{1}{2} \times 25 \times (7,84 \cdot 10^{-2})^2 = 0,07683 \text{ J}$$

- Invullen van $E_{z,C}$, $E_{v,C}$, $E_{z,B}$ en $E_{v,B}$ in de formule $\Delta E_{B \rightarrow C} = (E_{z,C} + E_{v,C}) - (E_{z,B} + E_{v,B})$:

$$\Delta E = -0,03846 + 0,07683 - (0 + 0,019) = 0,01937 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta E = 0,019 \text{ J.}$$

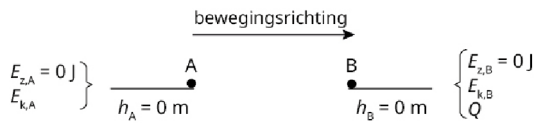
Dus de som van de zwaarte-energie en veerenergie is met 0,019 J toegenomen.

- d In de evenwichtsstand is de som van de zwaarte-energie en de veerenergie minimaal.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 21

- a ► De som van de tegenwerkende krachten F_w bereken je met de wet van behoud van energie. Zie figuur 8.21 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.21**

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

$$E_{k,A} = E_{k,B} + Q$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 + F_{w,\text{tot}} \cdot s$$

$$m = 1250 \text{ kg}$$

$$v_A = 80 \text{ km h}^{-1} = \frac{80}{3,6} = 22,2 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_B = 20 \text{ km h}^{-1} = \frac{20}{3,6} = 5,56 \text{ m s}^{-1}$$

$$s = 65 \text{ m}$$

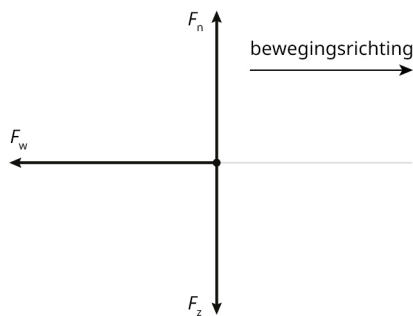
$$\text{Invullen levert: } \frac{1}{2} \times 1250 \times 22,2^2 = \frac{1}{2} \times 1250 \times 5,56^2 + F_{w,\text{tot}} \cdot 65$$

$$3,08 \cdot 10^5 = 1,93 \cdot 10^4 + F_{w,\text{tot}} \cdot 65$$

$$F_{w,\text{tot}} = \frac{3,08 \cdot 10^5 - 1,93 \cdot 10^4}{65} = 4,442 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,\text{tot}} = 4,4 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

- b ► De som van de tegenwerkende krachten F_w bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie. Zie figuur 8.22 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.22**

$$\Sigma W = \Delta E_k = E_{k,B} - E_{k,A}$$

$$W_w = E_{k,B} - E_{k,A}$$

$$-F_w \cdot s = E_{k,B} - E_{k,A}$$

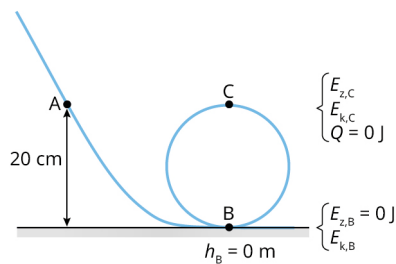
$$\text{Herschrijven levert: } E_{k,A} = E_{k,B} + F_w \cdot s, \text{ dus } \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 + F_w \cdot s$$

Dit is dezelfde formule als bij vraag a.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 22

- a ► De snelheid v_C waarmee de kogel punt C passeert bereken je met de wet van behoud van energie. Zie figuur 8.23 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.23**

$$\Sigma E_{\text{in},B} = \Sigma E_{\text{uit},C}$$

$$E_{k,B} = E_{z,C} + E_{k,C}$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_B^2 = m \cdot g \cdot h_C + \frac{1}{2} m \cdot v_C^2$$

$$\frac{1}{2} v_B^2 = g \cdot h_C + \frac{1}{2} v_C^2 \quad (\text{na wegstrepen van } m)$$

$$m = 35 \text{ g} = 0,035 \text{ kg}$$

$$v_B = 2,3 \text{ m s}^{-1}$$

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

$$h_C = h_A = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \frac{1}{2} \times 2,3^2 = 9,81 \times 0,20 + \frac{1}{2} v_C^2$$

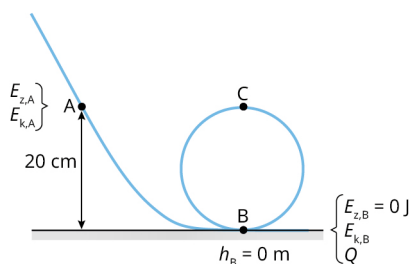
$$2,65 = 1,96 + \frac{1}{2} v_C^2$$

$$v_C = \sqrt{2 \times (2,65 - 1,96)} = 1,175 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_C = 1,2 \text{ m s}^{-1}.$$

- b ► De minimale snelheid v_A waarmee de kogel punt A moet passeren bereken je met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.24 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.24**

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

$$E_{z,A} + E_{k,A} = E_{k,B} + Q$$

$$m \cdot g \cdot h_A + \frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 + Q$$

$$m = 35 \text{ g} = 0,035 \text{ kg}$$

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

$$h_A = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$v_B = 2,3 \text{ m s}^{-1}$$

$$Q = 46 \text{ mJ} = 0,046 \text{ J}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

$$\text{Invullen levert: } 0,035 \times 9,81 \times 0,20 + \frac{1}{2} \times 0,035 \cdot v_A^2 = \frac{1}{2} \times 0,035 \times 2,3^2 + 0,046$$

$$0,0687 + 0,0175 \cdot v_A^2 = 0,0926 + 0,046$$

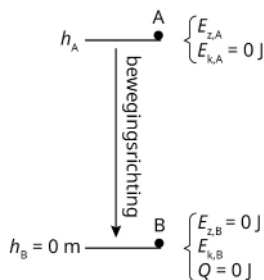
$$v_A = \sqrt{\frac{0,0926 + 0,046 - 0,0687}{0,0175}} = 1,9986 \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v_A = 2,0 \text{ m s}^{-1}$.

Opgave 23

- a ► Dat de bol in situatie B op de veer terecht komt met een snelheid van $3,2 \text{ m s}^{-1}$ toon je aan met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.25 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.25**

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

$$E_{z,A} = E_{k,B} \quad (Q = 0 \text{ J want de beweging is een vrije val.})$$

$$m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$g \cdot h_A = \frac{1}{2} v_B^2 \quad (\text{na wegstrepen van } m)$$

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

$$h_A = 52,5 \text{ cm} = 0,525 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 9,81 \times 0,525 = \frac{1}{2} v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,525} = 3,209 \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v_B = 3,2 \text{ m s}^{-1}$.

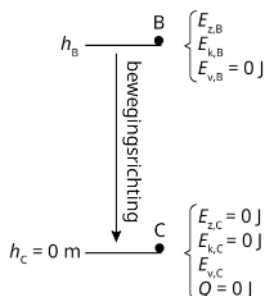
- b ► De veerconstante van de veer bereken je met de formule voor de veerenergie in situatie C.

$$E_{v,C} = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2$$

$$u_C = 15,5 \text{ cm} = 0,155 \text{ m}$$

- De veerenergie van de veer $E_{v,C}$ bereken je met met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.26 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.26**

$$\Sigma E_{\text{in},B} = \Sigma E_{\text{uit},C}$$

$$E_{z,B} + E_{k,B} = E_{v,C}$$

$$m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 = \frac{1}{2} C \cdot u_C^2$$

$$m = 2,60 \text{ kg}$$

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

$$h_B = 15,5 \text{ cm} = 0,155 \text{ m}$$

$$v_B = 3,2 \text{ m s}^{-1}$$

$$u_C = 15,5 \text{ cm} = 0,155 \text{ m}$$

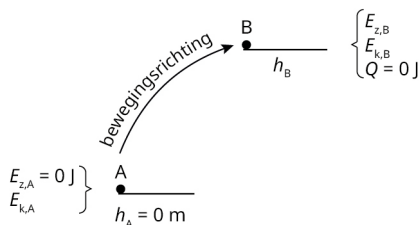
$$\text{Invullen levert: } 2,60 \times 9,81 \times 0,155 + \frac{1}{2} \times 2,60 \times 3,2^2 = \frac{1}{2} C \cdot 0,155^2$$

$$C = \frac{2 \times (2,60 \times 9,81 \times 0,155 + \frac{1}{2} \times 2,60 \times 3,2^2)}{0,155^2} = 1,437 \cdot 10^3 \text{ N m}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } C = 1,4 \cdot 10^3 \text{ N m}^{-1}.$$

Opgave 24

► De maximale hoogte h_B bereken je met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.27 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.27

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

$$E_{k,A} = E_{z,B} + E_{k,B}$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_A^2 = m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$\frac{1}{2} v_A^2 = g \cdot h_B + \frac{1}{2} v_B^2 \quad (\text{na wegstrepen van } m)$$

$$v_A = 18,2 \text{ m s}^{-1}$$

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

$$v_B = 6,1 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } \frac{1}{2} \times 18,2^2 = 9,81 \cdot h_B + \frac{1}{2} \times 6,1^2$$

$$165,6 = 9,81 \cdot h_B + 18,6$$

$$h_B = \frac{165,6 - 18,6}{9,81} = 14,985 \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } h_B = 15 \text{ m}.$$

Opgave 25

- a ► Dat de opgeslagen veerenergie bij de vader vier keer zo groot is als bij het kind leg je uit met de formule voor de veerenergie.

$$E_v = \frac{1}{2} C \cdot u^2$$

C is gelijk.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- De verandering van de indrukking u bereken je met de formule voor de veerkracht.

$$F_v = C \cdot u$$

C is gelijk.

- De verandering van de veerkracht F_v leg je uit met de eerste wet van Newton en de krachten in verticale richting.

In verticale richting werken de zwaartekracht en de veerkracht. Als de veer in rust is, geldt $F_{\text{res}} = 0 \text{ N}$.

$$F_v = F_z = m \cdot g$$

F_v is dus twee zo groot als de massa twee keer zo groot is.

- Invullen van F_v en u in de formule $F_v = C \cdot u$:

$$(F_v \text{ is twee keer zo groot}) = (C \text{ is gelijk}) \cdot u$$

Dus de indrukking u is twee keer zo groot bij een twee keer zo grote massa.

- Invullen van C en u in de formule $E_v = \frac{1}{2} C \cdot u^2$

$$E_v = \frac{1}{2} (C \text{ is gelijk}) \cdot (u \text{ twee keer zo groot})^2$$

Dus de opgeslagen veerenergie van de vader is vier keer zo groot als de opgeslagen veerenergie van het kind.

- b ► Of Nick over de muur kan kijken, laat je zien door te bepalen of de afstand van zijn ogen tot de grond groter is dan de hoogte van de muur.

$$h_{\text{muur}} = 3,5 \text{ m}$$

- De afstand van zijn ogen tot de grond bepaal je met de toename van de hoogte van zijn zwaartepunt door het ontspannen van de gasveer en de hoogte van zijn ogen ten opzichte van de grond op het moment van omhoog gaan.

$$h_{\text{ogen}} = h_{\text{ogen, ingedrukt}} + h$$

$$h_{\text{ogen, ingedrukt}} = 1,0 \text{ m}$$

- De toename van de hoogte h van zijn zwaartepunt bereken je met de wet van behoud van energie. Zie figuur 8.28 voor een schets van de situatie.

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

$$E_{v,A} = E_{z,B}$$

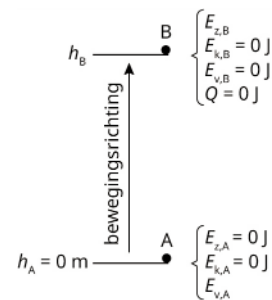
$$\frac{1}{2} C \cdot u^2 = m \cdot g \cdot h_B$$

$$C = 20 \text{ kN m}^{-1} = 20 \cdot 10^3 \text{ N m}^{-1}$$

$$u = 50,0 \text{ cm} = 50,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$m = 75 + 6,8 = 81,8 \text{ kg}$$

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



Figuur 8.28

Invullen levert: $\frac{1}{2} \times 20 \cdot 10^3 \times (50,0 \cdot 10^{-2})^2 = 81,8 \times 9,81 \cdot h_B$

$$h_B = \frac{\frac{1}{2} \times 20 \cdot 10^3 \times (50,0 \cdot 10^{-2})^2}{81,8 \times 9,81} = 3,12 \text{ m}$$

- Invullen van $h_{\text{ogen, ingedrukt}}$ en $h = h_B$ in de formule $h_{\text{ogen}} = h_{\text{ogen, ingedrukt}} + h$:

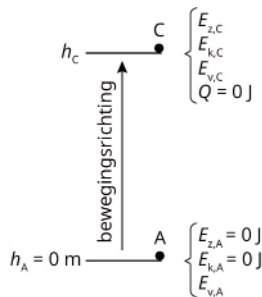
$$h_{\text{ogen}} = 1,0 + 3,12 = 4,12 \text{ m}$$

Dit is groter dan $h_{\text{muur}} = 3,5 \text{ m}$.

Dus Nick kan over de muur kijken.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- c Als Nick omhoog gaat, versnelt hij zolang de veerkracht groter is dan de zwaartekracht. Als de veerkracht kleiner is dan de zwaartekracht, vertraagt Nick. Dus de maximale snelheid van Nick wordt bereikt als $F_z = F_v$.
- d ► De maximale snelheid bereken je met de wet van behoud van energie. Zie figuur 8.29 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.29**

$$\Sigma E_{\text{in,A}} = \Sigma E_{\text{uit,C}}$$

$$\frac{1}{2}C \cdot u_A^2 = m \cdot g \cdot h_C + \frac{1}{2}m \cdot v_C^2 + \frac{1}{2}C \cdot u_C^2$$

$$u_A = 50,0 \text{ cm} = 50,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$m = 75 + 6,8 = 81,8 \text{ kg}$$

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

- De indrukking u_C bereken je met de formule voor de zwaartekracht en de veerkracht.

$$F_{z,C} = F_{v,C}$$

$$m \cdot g = C \cdot u_C$$

$$m = 75 + 6,8 = 81,8 \text{ kg}$$

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

$$C = 20 \text{ kN m}^{-1} = 20 \cdot 10^3 \text{ N m}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 81,8 \times 9,81 = 20 \cdot 10^3 \cdot u_C$$

$$u_C = \frac{81,8 \times 9,81}{20 \cdot 10^3} = 4,01 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- De hoogte h_C bereken je met de maximale indrukking u_A en de indrukking als de zwaartekracht gelijk is aan de veerkracht.

$$h_C = u_A - u_C$$

$$u_A = 50,0 \text{ cm} = 50,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$u_C = 4,01 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } h_C = 50,0 \cdot 10^{-2} - 4,01 \cdot 10^{-2} = 45,99 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- Invullen van C , u_A , m , g , h_C en u_C in de formule $\frac{1}{2}C \cdot u_A^2 = m \cdot g \cdot h_C + \frac{1}{2}m \cdot v_C^2 + \frac{1}{2}C \cdot u_C^2$:

$$\frac{1}{2} \times 20 \cdot 10^3 \times (50,0 \cdot 10^{-2})^2 = 81,8 \times 9,81 \times 45,99 \cdot 10^{-2} + \frac{1}{2} \times 81,8 \cdot v_C^2 + \frac{1}{2} \times 20 \cdot 10^3 \times (4,01 \cdot 10^{-2})^2$$

$$v_C = \sqrt{\frac{2,50 \cdot 10^3 - 3,691 \cdot 10^2 - 16,1}{40,9}} = 7,191 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_C = 7,2 \text{ m s}^{-1}.$$

8.4 Rendement en vermogen

Opgave 26

- a ► De hoeveelheid energie die ontstaat bij het verbranden van benzine bereken je met behulp van de formule voor de chemische energie van vloeistoffen.

$$E_{\text{ch, in}} = r_V \cdot V$$

$$r_V = 33 \cdot 10^9 \text{ J m}^{-3} \text{ (zie Binas tabel 28B)}$$

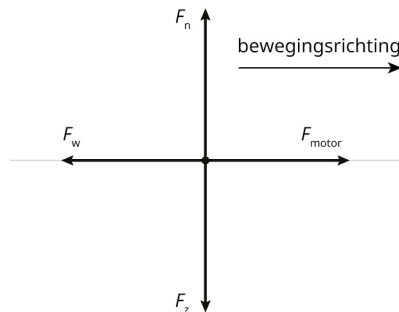
$$V = 5,0 \text{ L} = 5,0 \text{ dm}^3 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Invullen levert: } E_{\text{ch, in}} = 5,0 \cdot 10^{-3} \times 33 \cdot 10^9 = 1,65 \cdot 10^8 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E_{\text{ch, in}} = 1,7 \cdot 10^8 \text{ J.}$$

- b De rest van deze energie wordt omgezet in warmte. Daardoor krijgt het motorblok een hogere temperatuur en is de temperatuur van de verbrandingsgassen uit de uitlaatpijp hoger dan die van de buitenlucht.
- c ► De som van de weerstandskrachten F_w die op de auto werken bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.

Zie figuur 8.30 voor een schets van de krachten op de auto.



Figuur 8.30

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$W_{\text{motor}} + W_w = \Delta E_k \quad (W_n = 0 \text{ J en } W_z = 0 \text{ J})$$

$$\Delta E_k = 0 \text{ J} \quad (\text{De snelheid is constant.})$$

- W_{motor} verricht door de motorkracht bereken je met het nuttige vermogen en de formule voor het rendement.

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \quad \text{met } E_{\text{nuttig}} = W_{\text{motor}}$$

$$\eta = 25\% = 0,25$$

$$E_{\text{in}} = 1,7 \cdot 10^8 \text{ J} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$\text{Invullen levert: } 0,25 = \frac{E_{\text{nuttig}}}{1,7 \cdot 10^8}$$

$$E_{\text{nuttig}} = 0,25 \times 1,7 \cdot 10^8 \text{ J} = 4,25 \cdot 10^7 \text{ J}$$

$$\text{Dus } W_{\text{motor}} = 4,25 \cdot 10^7 \text{ J.}$$

- W_w verricht door de wrijvingskracht bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.

$$W_w = -F_w \cdot s$$

$$s = 100 \text{ km} = 100 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } W_w = -F_w \cdot 100 \cdot 10^3$$

- Invullen van W_{motor} , W_w en ΔE_k in de formule $W_{\text{motor}} + W_w = \Delta E_k$:

$$4,25 \cdot 10^7 + (-F_w \cdot 100 \cdot 10^3) = 0$$

$$F_w = \frac{-4,25 \cdot 10^7}{-100 \cdot 10^3} = 4,250 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_w = 4,3 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 27

- a ► De toename van de zwaarte-energie van het water per minuut bereken je met de formule voor de zwaarte-energie.

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

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

$$h = 6,0 \text{ m}$$

- De massa m van het water bereken je met de formule voor de dichtheid.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = 0,9982 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 11})$$

$$V = 130 \text{ m}^3$$

$$\text{Invullen levert: } 0,9982 \cdot 10^3 = \frac{m}{130}$$

$$m = 130 \times 0,9982 \cdot 10^3 = 129,8 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

- Invullen van m , g en h in de formule $E_z = m \cdot g \cdot h$:

$$E_z = 129,8 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 6,0 = 7,640 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E_z = 7,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 7,6 \text{ MJ.}$$

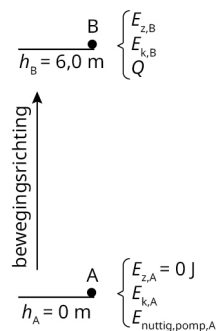
- b ► Het nuttige vermogen $P_{\text{nuttig,pomp}}$ dat de pompen minimaal moeten leveren, bereken je met de formule voor vermogen.

$$P_{\text{nuttig,pomp}} = \frac{E_{\text{nuttig,pomp}}}{t}$$

$$t = 1 \text{ min} = 60,0 \text{ s}$$

- De nuttige energie $E_{\text{nuttig,pomp}}$ die de pompen minimaal moeten leveren bereken je met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.31 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.31

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

$$E_{k,A} + E_{\text{nuttig,pomp,A}} = E_{z,B} + E_{k,B} + Q$$

$$E_{k,A} = E_{k,B} \quad (\text{De snelheid is constant.})$$

$$E_{z,B} = 7,6 \cdot 10^6 \text{ J (zie vraag a)}$$

$$E_{\text{nuttig,pomp,A}} = 7,6 \cdot 10^6 + Q$$

De nuttige energie $E_{\text{nuttig,pomp}}$ is dus groter dan $7,6 \cdot 10^6$.

Dus $E_{\text{nuttig,pomp}}$ is minimaal $7,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.

- Invullen van $E_{\text{nuttig,pomp}}$ en t in de formule $P_{\text{nuttig,pomp}} = \frac{E_{\text{nuttig,pomp}}}{t}$:

$$P_{\text{nuttig,pomp}} = \frac{7,6 \cdot 10^6}{60,0} = 1,267 \cdot 10^5 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P_{\text{nuttig,pomp}} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ W.}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 28

- a ► De luchtweerstandskracht $F_{w,l}$ bij de topsnelheid bereken je met de gegeven formule.

$$F_w = F_{w,rol} + F_{w,l}$$

$$F_{w,rol} = 8,0 \cdot 10^2 \text{ N}$$

- De totale wrijvingskracht F_w bereken je met de eerste wet van Newton.

$$F_{res} = 0 \text{ N} \quad (\text{Bij een topsnelheid is de snelheid constant.})$$

Op de Ferrari werken de kracht F_{motor} van de motor en de totale wrijvingskracht F_w . Deze twee krachten zijn dus even groot en tegengesteld gericht.

$$\text{Dus } F_w = F_{motor}.$$

- De kracht F_{motor} bereken je met de formule voor het vermogen geleverd door een kracht bij constante snelheid.

$$P_{motor} = F_{motor} \cdot v$$

$$P_{motor} = 397 \text{ kW} = 397 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$v = 315 \text{ km h}^{-1} = \frac{315}{3,6} = 87,50 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 397 \cdot 10^3 = F_{motor} \cdot 87,50$$

$$F_{motor} = \frac{397 \cdot 10^3}{87,50} = 4,537 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Dus } F_w = F_{motor} = 4,537 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- Invullen van F_w en $F_{w,rol}$ in de formule $F_w = F_{w,rol} + F_{w,l}$:

$$4,537 \cdot 10^3 = 8,0 \cdot 10^2 + F_{w,l}$$

$$F_{w,l} = 3,737 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,l} = 3,7 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

- b ► Dat de topsnelheid van de Peugeot niet zes keer zo laag is, leg je uit met de formule voor het vermogen geleverd door een kracht bij constante snelheid.

$$P_{motor} = F_{motor} \cdot v$$

$$F_{motor} = F_w$$

$$\text{Invullen levert: } P_{motor} = F_w \cdot v$$

$$P_{motor,Peugeot} \text{ is zes keer kleiner dan } P_{motor,Ferrari}.$$

- De verandering van de totale wrijvingskracht F_w beredeneer je met de formule voor de totale wrijvingskracht.

$$F_w = F_{w,rol} + F_{w,l}$$

$$F_{w,rol} \text{ is gelijk.}$$

$$F_{w,l} \text{ is kleiner. (Hoe kleiner de snelheid, hoe kleiner de luchtweerstand is.)}$$

$$\text{Invullen levert: } F_w = F_{w,rol} \text{ (is gelijk)} + F_{w,l} \text{ (is kleiner)}$$

$$F_w \text{ is kleiner als de snelheid kleiner is.}$$

- Invullen van de veranderingen in de formule $P_{motor} = F_w \cdot v$:

$$P_{motor,Peugeot} \text{ (zes keer kleiner)} = F_w \text{ (kleiner)} \cdot v_{Peugeot}$$

Als $P_{motor,Peugeot}$ zes keer zo klein is en F_w is kleiner, dan is de snelheid $v_{Peugeot}$ niet zes keer kleiner dan de snelheid van de Ferrari.

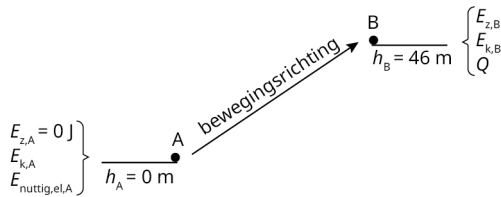
De topsnelheid van de Peugeot is dus niet zes keer zo laag als die van de Ferrari.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 29

- a ► Hoeveel elektrische energie $E_{\text{nuttig,el,min}}$ minstens nodig is bereken je met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.32 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.32**

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

$$E_{k,A} + E_{\text{nuttig,el,A}} = E_{z,B} + E_{k,B} + Q$$

$$E_{k,A} = E_{k,B} \quad (\text{De snelheid is constant.})$$

$$\text{Dus } E_{\text{nuttig,el,A}} = E_{z,B} + Q$$

$$E_{\text{nuttig,el,A}} = m \cdot g \cdot h_B + Q$$

$$m = 14 \text{ ton} = 14 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

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

$$h_B = 46 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{\text{nuttig,el,A}} = 14 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 46 + Q = 6,318 \cdot 10^6 + Q$$

De elektrische energie $E_{\text{nuttig,el}}$ is dus groter dan $6,318 \cdot 10^6 \text{ J}$.

De elektrische energie $E_{\text{nuttig,el,min}}$ die minimaal nodig is, is $6,318 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Afgerond: $E_{\text{nuttig,el,min}} = 6,3 \cdot 10^6 \text{ J}$.

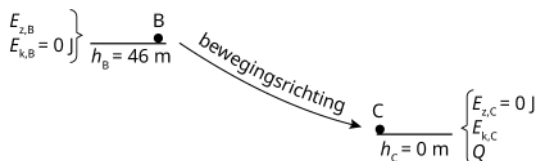
- b ► De gemiddelde wrijvingskracht $F_{w,\text{gem}}$ op de trein bereken je met de formule voor de warmte.

$$Q = F_{w,\text{gem}} \cdot s$$

$$s = 49 \text{ m} \quad (\text{de lengte van de afdaling})$$

- De hoeveelheid energie die tijdens de afdaling wordt omgezet in warmte, bereken je met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.33 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.33**

$$\Sigma E_{\text{in,B}} = \Sigma E_{\text{uit,C}}$$

$$E_{z,B} = E_{k,C} + Q$$

$$E_{z,B} = 6,318 \cdot 10^6 \text{ J} \quad (\text{zie vraag a})$$

- De kinetische energie $E_{k,C}$ onderaan de helling bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,C} = \frac{1}{2} m \cdot v_C^2$$

$$m = 14 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$v_C = \frac{106}{3,6} = 29,44 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } E_{k,C} = \frac{1}{2} \times 14 \cdot 10^3 \times 29,44^2 = 6,07 \cdot 10^6 \text{ J}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- Invullen van $E_{z,B}$ en $E_{k,C}$ in de formule $E_{z,B} = E_{k,C} + Q$:

$$6,318 \cdot 10^6 = 6,07 \cdot 10^6 + Q$$

$$Q = 2,480 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- Invullen van Q en s in de formule $Q = F_{w,gem} \cdot s$:

$$2,480 \cdot 10^5 = F_w \cdot 49$$

$$F_{w,gem} = \frac{2,480 \cdot 10^5}{49} = 5,061 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{w,gem} = 5,1 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

Opgave 30

- a ► De hoeveelheid energie E om 7,5 km met een constante snelheid van 18 km h^{-1} af te leggen, bepaal je met de formule voor het vermogen.

$$P = \frac{E}{t}$$

- Het vermogen P lees je af in figuur 35 bij de snelheid die hoort bij 18 km h^{-1} .

$$P = 45 \text{ W} \quad (\text{aflezen bij } 18 \text{ km h}^{-1} = \frac{18}{3,6} = 5,0 \text{ m s}^{-1})$$

- De tijd t bereken je met de formule voor de verplaatsing bij een eenparige beweging.

$$s = v \cdot t$$

$$s = 7,5 \text{ km} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$v = 18 \text{ km h}^{-1} = \frac{18}{3,6} = 5,00 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 7,5 \cdot 10^3 = 5,00 \cdot t$$

$$t = \frac{7,5 \cdot 10^3}{5,00} = 1,50 \cdot 10^3 \text{ s}$$

- Invullen van P en t in de formule $P = \frac{E}{t}$:

$$45 = \frac{E}{1,50 \cdot 10^3}$$

$$E = 1,50 \cdot 10^3 \times 45 = 6,75 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E = 6,8 \cdot 10^4 \text{ J.}$$

- b ► De grootte van de weerstandskracht F_w voor de gewone fiets bereken je met de eerste wet van Newton.

De snelheid is constant, dus volgens de eerste wet van Newton is $F_{\text{res,hor}} = 0 \text{ N}$.

In de bewegingsrichting werken de trapkracht F_{trap} van de fietser en de weerstandskracht F_w . Deze twee krachten zijn dus even groot en tegengesteld gericht.

Dus $F_w = F_{\text{trap}}$.

- De trapkracht F_{trap} bereken je met de formule voor het vermogen.

$$P = F_{\text{trap}} \cdot v$$

$$P = 95 \text{ W} \quad (\text{aflezen bij } v = 7,2 \text{ m s}^{-1})$$

$$v = 7,2 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 95 = F_{\text{trap}} \cdot 7,2$$

$$F_{\text{trap}} = \frac{95}{7,2} = 13,19 \text{ N}$$

$$\text{Dus } F_w = 13,19 \text{ N.}$$

$$\text{Afgerond: } F_w = 13 \text{ N.}$$

- c Als je een kleiner vermogen levert bij dezelfde snelheid, dan is de trapkracht kleiner. Je trapkracht is kleiner, omdat de luchtweerstandskracht kleiner is. De luchtweerstandskracht is kleiner, omdat bij een ligfiets de frontale oppervlakte kleiner is.

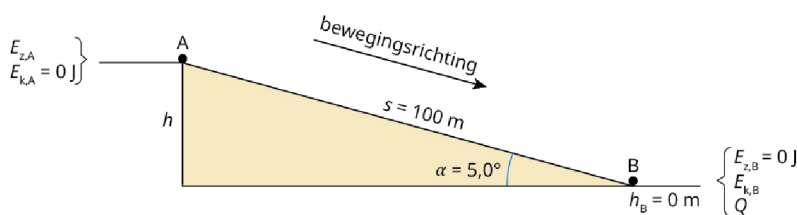
Opgave 31

- a ► De snelheid van Youella en haar fiets onderaan de helling bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$m = 65 \text{ kg}$$

- De kinetische energie bereken je met de wet van behoud van energie. Zie figuur 8.34 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.34

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

$$E_{z,A} = E_{k,B} + Q$$

- De zwaarte-energie $E_{z,A}$ van Youella en haar fiets bereken je met de formule voor de zwaarte-energie.

$$E_z = m \cdot g \cdot h_A$$

$$m = 65 \text{ kg}$$

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

- De hoogte h_A bereken je met een goniometrische verhouding. Zie figuur 8.34.

$$\sin(5,0^\circ) = \frac{h_A}{100}$$

$$h_A = 100 \times \sin(5,0^\circ) = 8,72 \text{ m}$$

Invullen van m , g en h_A in de formule $E_z = m \cdot g \cdot h_A$:

$$E_z = 65 \times 9,81 \times 8,72 = 5,56 \cdot 10^3 \text{ J}$$

- De hoeveelheid warmte bereken je met de formule voor de warmte.

$$Q = F_w \cdot s$$

$$F_w = 40 \text{ N}$$

$$s = 100 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } Q = 40 \times 100 = 4,0 \cdot 10^3 \text{ J}$$

- Invullen van $E_{k,A}$ en Q in de formule $E_{z,A} = E_{k,B} + Q$:

$$5,56 \cdot 10^3 = E_{k,B} + 4,0 \cdot 10^3$$

$$E_{k,B} = 1,56 \cdot 10^3 \text{ J}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

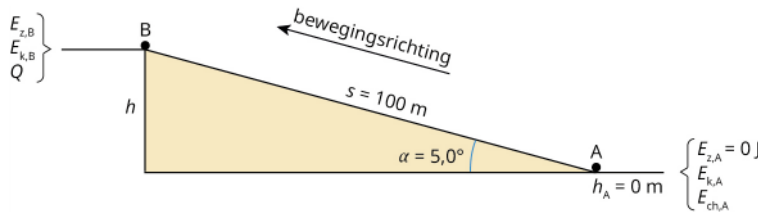
- Invullen van $E_k = E_{k,A}$ en m in de formule $E_k = \frac{1}{2}m \cdot v^2$:

$$1,56 \cdot 10^3 = \frac{1}{2} \times 65 \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 1,56 \cdot 10^3}{65}} = 6,928 \text{ m s}^{-1}$$

Afgerond: $v = 6,9 \text{ m s}^{-1}$.

- b ► De chemische energie $E_{ch,A}$ die Youella minstens moet gebruiken, bereken je met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.35 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.35

$$\Sigma E_{in,A} = \Sigma E_{uit,B}$$

$$E_{k,A} + E_{ch,A} = E_{z,B} + E_{k,B} + Q$$

$$E_{ch,A} = E_{z,B} + Q \quad (E_{k,A} = E_{k,B}, \text{ want de snelheid is constant.})$$

$$E_{z,B} = 1,56 \cdot 10^3 \text{ J} \quad (\text{zie vraag a})$$

- De hoeveelheid warmte Q bereken je met de formule voor de warmte.

$$Q = F_w \cdot s$$

$$F_w = 25 \text{ N}$$

$$s = 100 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } Q = 25 \times 100 = 2,5 \cdot 10^3 \text{ J}$$

- Invullen van $E_{z,B}$ en Q in de formule $E_{ch,A} = E_{z,B} + Q$:

$$E_{ch,A} = 1,56 \cdot 10^3 + 2,5 \cdot 10^3 = 4,06 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E_{ch,A} = 4,1 \cdot 10^3 \text{ J.}$$

- c In werkelijkheid moet Youella meer energie gebruiken, omdat zij ook energie nodig heeft om de processen in haar lichaam op gang te houden.

Opgave 32

- a ► De hoeveelheid aardgas (Gronings) bereken je met de formule voor de chemische energie.

$$E_{ch,in} = r_V \cdot V$$

$$r_V = 32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \quad (\text{zie Binas tabel 28B})$$

- De totaal geleverde chemische energie $E_{ch,in}$ bereken je met de formule voor het rendement.

$$\eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{ch,in}}$$

$$\eta = 95\% = 0,95$$

$$E_{nuttig} = 45 \text{ GJ} = 45 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$0,95 = \frac{4,5 \cdot 10^{10}}{E_{ch,in}}$$

$$E_{ch,in} = \frac{4,5 \cdot 10^{10}}{0,95} = 4,74 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

- Invullen van $E_{\text{ch,in}}$ en r_V in de formule $E_{\text{ch,in}} = r_V \cdot V$:

$$4,74 \cdot 10^{10} = 32 \cdot 10^6 \cdot V$$

$$V = \frac{4,74 \cdot 10^{10}}{32 \cdot 10^6} = 1,481 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3.$$

- b ► Het aantal zonnepanelen n dat minstens nodig is bereken je met de benodigde elektrische energie $E_{\text{el,in}}$ uitgedrukt in kWh en de energieopbrengst E_{paneel} per zonnepaneel.

$$n = \frac{E_{\text{el,in}}}{E_{\text{paneel}}}$$

$$E_{\text{paneel}} = 360 \text{ kWh}$$

- De benodigde elektrische energie $E_{\text{el,in}}$ bereken je met de formule voor het rendement.

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{el,in}}}$$

$$\eta = 3,7$$

$$E_{\text{nuttig}} = 45 \text{ GJ} = 45 \cdot 10^9 \text{ J} \quad (\text{De nuttige energie is gelijk aan het warmteverlies in een stookseizoen.})$$

$$\text{Invullen levert: } 3,7 = \frac{4,5 \cdot 10^{10}}{E_{\text{el,in}}}$$

$$E_{\text{el,in}} = \frac{4,5 \cdot 10^{10}}{3,7} = 1,22 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \quad (\text{zie Binas tabel 5})$$

$$E_{\text{el,in}} = \frac{1,22 \cdot 10^{10}}{3,6 \cdot 10^6} = 3,389 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

- Invullen van $E_{\text{el,in}}$ en de energieopbrengst per zonnepaneel in de formule $n = \frac{E_{\text{el,in}}}{E_{\text{paneel}}}$:

$$n = \frac{3,389 \cdot 10^3}{360} = 9,414$$

$$\text{Afgerond op een geheel getal: } n = 10. \quad (9 \text{ zonnepanelen zijn te weinig.})$$

Opgave 33

- a ► De actieradius s_{gem} van de Tesla bij gemiddeld energieverbruik bereken je met het gemiddelde energieverbruik per km $E_{\text{auto,gem,km}}$ van de auto en de hoeveelheid energie E_{accu} in de accu's.

$$s_{\text{gem}} = \frac{E_{\text{accu}}}{E_{\text{auto,gem,km}}}$$

$$E_{\text{accu}} = 100 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{auto,gem,km}} = 0,20 \text{ kWh km}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } s_{\text{gem}} = \frac{100}{0,20} = 500,0 \text{ km}$$

$$\text{Afgerond: } s_{\text{gem}} = 5,0 \cdot 10^2 \text{ km.}$$

- b ► Het nuttige vermogen $P_{\text{el,top,nuttig}}$ van de elektromotoren bij topsnelheid bereken je met de formule voor het vermogen geleverd door een kracht bij constante snelheid.

$$P_{\text{el,top,nuttig}} = F_{\text{motor}} \cdot v$$

$$v = 250 \text{ km h}^{-1} = \frac{250}{3,6} = 69,44 \text{ m s}^{-1}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- De motorkracht F_{motor} bereken je met de eerste wet van Newton.

De snelheid is constant, dus volgens de eerste wet van Newton is $F_{\text{res,hor}} = 0 \text{ N}$.

In de bewegingsrichting werken de motorkracht F_{motor} van de auto en de totale wrijvingskracht $F_{\text{w,tot}}$.

Deze twee krachten zijn dus even groot en tegengesteld gericht.

Dus $F_{\text{motor}} = F_{\text{w,tot}}$

$$F_{\text{w,tot}} = 6,5 \text{ kN} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Dus $F_{\text{motor}} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ N}$.

- Invullen van F_{motor} en v in de formule $P_{\text{el,top,nuttig}} = F_{\text{motor}} \cdot v$:

$$P_{\text{el,top,nuttig}} = 6,5 \cdot 10^3 \times 69,44 = 4,514 \cdot 10^5 \text{ W}$$

Afgerond: $P_{\text{el,top,nuttig}} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ W}$.

- c ► Het energieverbruik $E_{\text{el,top,km}}$ per km bij topsnelheid bereken je met de hoeveelheid energie E_{accu} in de accu's en de afstand s_{top} die de auto op topsnelheid kan rijden.

$$E_{\text{el,top,km}} = \frac{E_{\text{accu}}}{s_{\text{top}}}$$

$$E_{\text{accu}} = 100 \text{ kWh}$$

- De afstand s_{top} die de auto op topsnelheid kan rijden bereken je met de formule voor de verplaatsing bij een eenparige beweging.

$$s_{\text{top}} = v \cdot t$$

$$v = 250 \text{ km h}^{-1}$$

- De tijd t die de auto op topsnelheid kan rijden bereken je met de hoeveelheid energie E_{accu} in de accu's en de het geïnvesteerde vermogen $P_{\text{el,top,in}}$.

$$P_{\text{el,top,in}} = \frac{E_{\text{accu}}}{t}$$

$$E_{\text{accu}} = 100 \text{ kWh}$$

- $P_{\text{el,top,in}}$ bereken je met de formule voor het rendement.

$$\eta = \frac{P_{\text{el,top,nuttig}}}{P_{\text{el,top,in}}}$$

$$\eta = 90\% = 0,90$$

$$P_{\text{el,top,nuttig}} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ W}$$

$$\text{Invullen levert: } 0,90 = \frac{4,5 \cdot 10^5}{P_{\text{el,top,in}}}$$

$$P_{\text{el,top,in}} = \frac{4,5 \cdot 10^5}{0,90} = 5,00 \cdot 10^5 \text{ W} = 500 \text{ kW}$$

$$\text{Invullen van } P_{\text{el,top,in}} \text{ en } E_{\text{accu}} \text{ in de formule } P_{\text{el,top,in}} = \frac{E_{\text{accu}}}{t}:$$

$$500 = \frac{100}{t}$$

$$t = \frac{100}{500} = 0,2000 \text{ h}$$

Invullen van v en t in de formule $s_{\text{top}} = v \cdot t$:

$$s_{\text{top}} = 250 \times 0,2000 = 50,0 \text{ km}$$

$$\text{Invullen van } E_{\text{accu}} \text{ en } s_{\text{top}} \text{ in de formule } E_{\text{el,top,km}} = \frac{E_{\text{accu}}}{s_{\text{top}}}$$

$$E_{\text{el,top,km}} = \frac{100}{50,0} = 2,000 \text{ kWh km}^{-1}$$

Afgerond: $2,0 \text{ kWh km}^{-1}$.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 34

- a ► De maximale versnelling a uitgedrukt in g bepaal je met de verhouding tussen de maximale versnelling en de valversnelling.

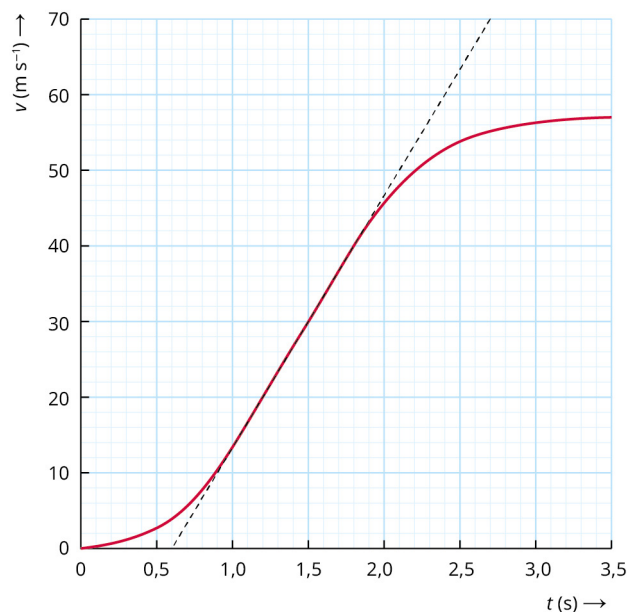
$$a = \frac{a_{\max}}{g}$$

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

- De maximale versnelling $a_{\max}$ bepaal je uit de maximale steilheid van de grafiek in het (v,t) -diagram.

$$a_{\max} = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

In figuur 8.36 is in het steilste gedeelte van de grafiek de raaklijn getekend.



Figuur 8.36

Je gebruikt de coördinaten van twee punten op de raaklijn die ver uit elkaar liggen en gemakkelijk af te lezen zijn. Bijvoorbeeld in figuur 8.36 de punten bij $t = 0,6 \text{ s}$ en $t = 2,7 \text{ s}$.

Invullen levert: $a_{\max} = \frac{70,0 - 0,0}{2,7 - 0,6} = 33,3 \text{ m s}^{-2}$

- Invullen van $a_{\max}$ en g in de formule $a = \frac{a_{\max}}{g}$:

$$a = \frac{33,3}{9,81} = 3,394g$$

Afgerond: $a = 3,4g$

- b ► Het gemiddelde vermogen dat de elektromotor moet leveren bereken je met de formule voor het vermogen.

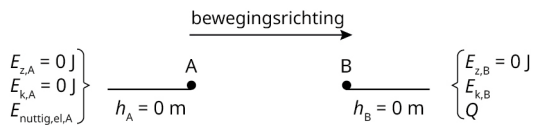
$$P_{\text{gem}} = \frac{E_{\text{nuttig,el}}}{t}$$

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

- De hoeveelheid nuttige elektrische energie $E_{\text{nuttig,el}}$ bereken je met behulp van de wet van behoud van energie.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Zie figuur 8.37 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.37

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

$$E_{\text{nuttig,el},A} = E_{k,B} + Q$$

$$E_{\text{nuttig,el},A} = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 + Q$$

$$m = 3,1 \text{ ton} = 3,1 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$v_B = 57 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{aflezen in figuur 47 op } t = 3,5 \text{ s})$$

$$\text{Invullen levert: } E_{\text{nuttig,el},A} = \frac{1}{2} \times 3,1 \cdot 10^3 \times 57^2 + Q$$

$$E_{\text{nuttig,el},A} = 5,04 \cdot 10^6 + Q$$

$E_{\text{nuttig,el},A}$ is groter dan $5,04 \cdot 10^6 \text{ J}$.

De elektrische energie $E_{\text{nuttig,el}}$ die minimaal nodig is, is $5,04 \cdot 10^6 \text{ J}$.

► Invullen van $E_{\text{nuttig,el},\text{min}}$ en t in de formule $P_{\text{gem}} = \frac{E_{\text{nuttig,el}}}{t}$:

$$P_{\text{gem}} = \frac{5,04 \cdot 10^6}{3,5} = 1,440 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P_{\text{gem}} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ W}$$

- c ► Hoe groot het percentage maximaal mag zijn bereken je met de verhouding tussen de hoeveelheid warmte en de hoeveelheid energie aan het begin van de rit omhoog.

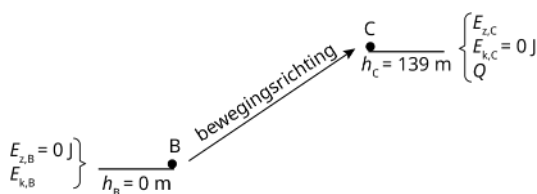
$$\text{percentage} = \frac{Q}{E_{k,B}} \cdot 100\%$$

(Aan het begin van de rit omhoog is $h = 0 \text{ m}$, dus bezit de trein met passagiers alleen kinetische energie.)

► De kinetische energie $E_{k,B}$ bepaal je met behulp van de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.38 voor een schets van de situatie.

Minimaal de top halen betekent dat de snelheid in punt C minimaal 0 m s^{-1} is.



Figuur 8.38

$$\Sigma E_{\text{in},B} = \Sigma E_{\text{uit},C}$$

$$E_{k,B} = E_{z,C} + Q$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_B^2 = m \cdot g \cdot h_C + Q$$

$$m = 31 \text{ ton} = 3,1 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$v_B = 57 \text{ m s}^{-1}$$

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

$$h_C = 139 \text{ m}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

$$\begin{aligned}\text{Invullen levert: } \frac{1}{2} \times 3,1 \cdot 10^3 \times 57^2 &= 3,1 \cdot 10^3 \times 9,81 \times 139 + Q \\ 5,04 \cdot 10^6 &= 4,23 \cdot 10^6 + Q \\ Q &= 8,10 \cdot 10^5 \text{ J}\end{aligned}$$

► Invullen van Q en $E_{k,B}$ in de formule $\text{percentage} = \frac{Q}{E_{k,B}} \cdot 100\%$:

$$\text{percentage} = \frac{8,10 \cdot 10^5}{5,04 \cdot 10^6} \times 100\% = 16,071\%$$

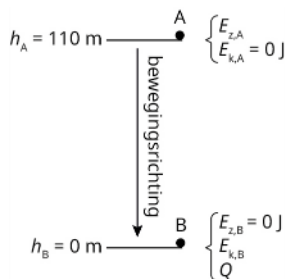
Afgerond: percentage = 16%.

Opgave 35

- a ► Het percentage dat is omgezet in warmte bereken je met de zwaarte-energie en de hoeveelheid ontstane warmte.

$$\text{percentage} = \frac{Q}{E_Z} \cdot 100\%$$

- De ontstane warmte Q bereken je met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.39 voor een schets van de situatie.

**Figuur 8.39**

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

$$E_{z,A} = E_{k,B} + Q$$

$$m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 + Q$$

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

$$h_A = 110 \text{ m}$$

$$v = 38 \text{ m s}^{-1} \text{ (aflezen op } t = 5,1 \text{ s in figuur 48)}$$

$$\text{Invullen levert: } m \cdot 9,91 \times 110 = \frac{1}{2} m \cdot 38^2 + Q$$

$$Q = m \cdot 9,91 \times 110 - \frac{1}{2} m \cdot 38^2$$

► Invullen van E_z en Q in de formule $\text{percentage} = \frac{Q}{E_Z} \cdot 100\%$:

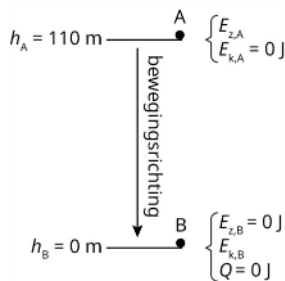
$$\text{percentage} = \frac{m \cdot 9,81 \times 110 - \frac{1}{2} m \cdot 38^2}{m \cdot 9,81 \times 110} \times 100\% \quad (\text{In elke term staat } m.)$$

$$\text{percentage} = \frac{9,81 \times 110 - \frac{1}{2} \times 38^2}{9,81 \times 110} \times 100\% = 33,09\%$$

Afgerond: percentage = 33%.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- b ► De grafiek teken je met behulp van de steilheid van de grafiek op $t = 0,0$ s en met de snelheid die wordt bereikt na een beweging van 110 m vrije val.
Bij een vrije val is de steilheid van de grafiek op $t = 0,0$ s gelijk aan $9,81 \text{ m s}^{-2}$.
- De snelheid na 110 m vrije val bereken je met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.40 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.40

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

$$E_{z,A} = E_{k,B}$$

$$m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$g \cdot h_A = \frac{1}{2} v_B^2 \quad (\text{na wegstrepen van } m)$$

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

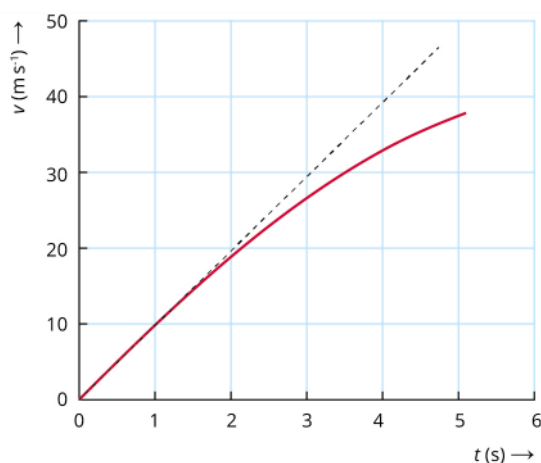
$$h_A = 110 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } 9,81 \times 110 = \frac{1}{2} v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{2 \times 9,81 \times 110} = 46,5 \text{ m s}^{-1}$$

- Teken vanaf de oorsprong een rechte lijn met de steilheid van $9,81 \text{ m s}^{-2}$ tot de snelheid $46,5 \text{ m s}^{-1}$ is bereikt.

Zie de uitwerking in figuur 8.41.



Figuur 8.41

8.5 Gravitatie-energie en ontsnappingssnelheid

Opgave 36

- 1 De gravitatiekracht van de zon op de planeet is in het perihelium **groter dan** de gravitatiekracht in het aphelium.

► Of de gravitatiekracht F_g in het perihelium groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de gravitatiekracht in het aphelium beredeneer je met de formule voor de gravitatiekracht.

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{zon}}}{r^2}$$

G , m en M_{zon} zijn gelijk.

r is bij het perihelium kleiner.

$$\text{Invullen levert: } F_g = (G \text{ is gelijk}) \cdot \frac{(m \text{ is gelijk}) \cdot (M_{\text{zon}} \text{ is gelijk})}{(r \text{ is kleiner})^2}$$

Dus de gravitatiekracht F_g in het perihelium is groter dan in het aphelium.

- 2 De gravitatie-energie van de planeet is in het perihelium **kleiner dan** de gravitatie-energie in het aphelium.

► Of de gravitatie-energie E_g in het perihelium groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de gravitatie-energie in het aphelium beredeneer je met de formule voor de gravitatie-energie.

$$E_g = -G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{zon}}}{r}$$

G , m en M_{zon} zijn gelijk.

r is bij het perihelium kleiner.

$$\text{Invullen levert: } E_g = -(G \text{ is gelijk}) \cdot \frac{(m \text{ is gelijk}) \cdot (M_{\text{zon}} \text{ is gelijk})}{(r \text{ is kleiner})}$$

Dus de gravitatie-energie E_g in het perihelium is kleiner (meer negatief) dan in het aphelium.

- 3 De baansnelheid van de planeet is in het perihelium **groter dan** de baansnelheid in het aphelium.

► Of de baansnelheid v_p in het perihelium groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de baansnelheid in het aphelium beredeneer je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,p} = \frac{1}{2} m \cdot v_p^2$$

m is gelijk.

► Of de kinetische energie $E_{k,p}$ in het perihelium groter dan, kleiner dan of gelijk is aan de kinetische energie in het aphelium beredeneer je met de wet van behoud van energie.

$$\Sigma E_{\text{in,p}} = \Sigma E_{\text{uit,a}}$$

$$E_{g,p} + E_{k,p} = E_{g,a} + E_{k,a}$$

$$E_{g,p} \text{ is kleiner dan } E_{g,a}.$$

Dus de kinetische energie $E_{k,p}$ in het perihelium is groter dan de kinetische energie $E_{k,a}$ in het aphelium.

► Invullen van de veranderingen van $E_{k,p}$ en m in de formule $E_{k,p} = \frac{1}{2} m \cdot v_p^2$:

$$(E_{k,p} \text{ is groter}) = \frac{1}{2} (m \text{ is gelijk}) \cdot v_p^2$$

Dus de snelheid v_p in het perihelium is groter dan de snelheid v_a in het aphelium.

Opgave 37

- a ► De formule voor de ontsnappingssnelheid leid je af met de formule voor de kinetische energie en de formule voor de gravitatie-energie.

Als een voorwerp vertrekt met de ontsnappingssnelheid, is de som van de gravitatie-energie en de kinetische energie gelijk aan 0 J.

$$E_g + E_k = 0$$

$$-G \cdot \frac{m \cdot M}{r} + \frac{1}{2} m \cdot v^2 = 0$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

$$\frac{1}{2}v^2 = G \cdot \frac{M}{r}$$

$$v = \sqrt{2G \cdot \frac{M}{r}}$$

- b ► De orde van grootte van de ontsnappingssnelheid van de maan bereken je met de formule voor de ontsnappingssnelheid.

$$v = \sqrt{2G \cdot \frac{M}{r}}$$

$$G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$M = M_{\text{maan}} = 0,0735 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$r = r_{\text{maan}} = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$\text{Invullen levert: } v = \sqrt{2 \times 6,674 \cdot 10^{-11} \times \frac{0,0735 \cdot 10^{24}}{1,738 \cdot 10^6}} = 2,3759 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

De orde van grootte is 10^3 m s^{-1} .

- c ► De straal van de ster bereken je met de formule voor de ontsnappingssnelheid op de ster.

$$v = \sqrt{2G \cdot \frac{M}{r}}$$

$$v = c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$G = 6,67430 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

- De massa van de ster bereken je met de massa van de zon.

$$M = 3M_{\text{zon}}$$

$$M_{\text{zon}} = 1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 32C})$$

$$M = 3 \times 1,9884 \cdot 10^{30} = 5,9652 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

- Invullen van v , G en M in de formule $v = \sqrt{2G \cdot \frac{M}{r}}$:

$$2,99792 \cdot 10^8 = \sqrt{2 \times 6,67430 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,9652 \cdot 10^{30}}{r}}$$

$$(2,99792 \cdot 10^8)^2 = 2 \times 6,67430 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,9652 \cdot 10^{30}}{r}$$

$$r = \frac{2 \times 6,67384 \cdot 10^{-11} \times 5,9652 \cdot 10^{30}}{(2,99792 \cdot 10^8)^2} = 8,859733 \cdot 10^3 \text{ m}$$

Afgerond: $r = 8,8597 \cdot 10^3 \text{ m}$.

Opgave 38

- a Valt een rotsblok vanuit de ruimte door de dampkring naar de aarde, dan kan dit door luchtweerstand gloeiend heet worden. Het rotsblok gaat licht uitzenden. Dit zie je dan als een lichtspoor.
- b – ► De totale energie E_A van het rotsblok op 200 km hoogte bereken je met de formule voor de gravitatie-energie en de kinetische energie.

$$E_A = E_{g,A} + E_{k,A}$$

$$E_A = -G \cdot \frac{m_A \cdot M}{r_A} + \frac{1}{2} m_A \cdot v_A^2$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m_A = 10 \text{ ton} = 10 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$v_A = 45 \text{ km s}^{-1} = 45 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- De straal r van de rots op 200 km hoogte bereken je met de straal van de aarde en de hoogte van de rots boven het aardoppervlak.

$$r_A = r_{\text{aarde}} + h$$

$$r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$h = 200 \text{ km} = 200 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } r_A = 6,371 \cdot 10^6 + 200 \cdot 10^3 = 6,571 \cdot 10^6 \text{ m}$$

- Invullen van G , m_A , M , r_A en v_A in de formule $E_A = -G \cdot \frac{m_A \cdot M}{r_A} + \frac{1}{2} m_A \cdot v_A^2$:

$$E_A = -6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{10 \cdot 10^3 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{6,571 \cdot 10^6} + \frac{1}{2} \times 10 \cdot 10^3 \times (45 \cdot 10^3)^2 = 9,519 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E_A = 9,5 \cdot 10^{12} \text{ J.}$$

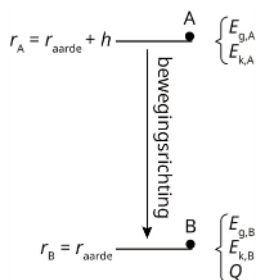
- ► De snelheid van het rotsblok v_B bij het contact met het aardoppervlak bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,B} = \frac{1}{2} m_B \cdot v_B^2$$

$$m_B = 0,25 \times 10 \text{ ton} = 2,5 \text{ ton} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

- De kinetische energie $E_{k,B}$ bereken je met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.42 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.42

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

$$9,5 \cdot 10^{12} = E_{g,B} + E_{k,B} + Q$$

$$9,5 \cdot 10^{12} = -G \cdot \frac{m_B \cdot M}{r_B} + \frac{1}{2} m_B \cdot v_B^2 + Q$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m_B = 0,25 \times 10 \text{ ton} = 2,5 \text{ ton} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$r_B = r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

- De hoeveelheid warmte Q die is ontstaan bereken je met de totale energie van de rots op hoogte 200 km.

$$Q = 0,0025 \cdot E_A = 0,0025 \times 9,5 \cdot 10^{12} = 2,375 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

- Invullen van G , m_B , M , r_B en Q in de formule $9,5 \cdot 10^{12} = -G \cdot \frac{m_B \cdot M}{r_B} + \frac{1}{2} m_B \cdot v_B^2 + Q$:

$$9,5 \cdot 10^{12} = -6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{2,5 \cdot 10^3 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{6,371 \cdot 10^6} + \frac{1}{2} \times 2,5 \cdot 10^3 \times v_B^2 + 2,375 \cdot 10^{10}$$

$$9,5 \cdot 10^{12} = -1,56 \cdot 10^{11} + 1,25 \cdot 10^3 \times v_B^2 + 2,375 \cdot 10^{10}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{9,5 \cdot 10^{12} + 1,56 \cdot 10^{11} - 2,375 \cdot 10^{10}}{1,25 \cdot 10^3}} = 8,778 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } v_B = 8,8 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}.$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 39

- a ► De gravitatie-energie E_g van het ISS bereken je met de formule voor de gravitatie-energie.

$$E_g = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r}$$

$$G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m = 2,46 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

$$M = M_{\text{aarde}} = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

- De baanstraal van het ISS bereken je met de straal van de aarde en de hoogte van het ISS boven het aardoppervlak.

$$r = r_{\text{aarde}} + h$$

$$r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$h = 342 \text{ km} = 342 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$r = 6,371 \cdot 10^6 + 342 \cdot 10^3 = 6,713 \cdot 10^6 \text{ m}$$

- Invullen van G , m , M en r in de formule $E_g = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r}$:

$$E_g = -6,674 \cdot 10^{-11} \times \frac{2,46 \cdot 10^5 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{6,713 \cdot 10^6} = -1,4606 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E_g = -1,46 \cdot 10^{13} \text{ J.}$$

- b – ► Dat de gravitatie-energie afneemt als de baanstraal kleiner wordt, beredeneer je met de formule voor de gravitatie-energie.

$$E_g = -G \cdot \frac{m \cdot M_{\text{aarde}}}{r}$$

G , m en M_{aarde} zijn gelijk.

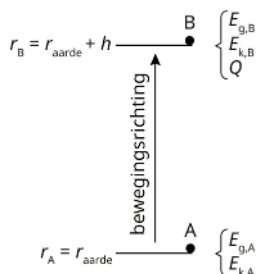
r wordt kleiner.

$$\text{Invullen levert: } E_g = -(G \text{ is gelijk}) \cdot \frac{(m \text{ is gelijk}) \cdot (M_{\text{aarde}} \text{ is gelijk})}{(r \text{ is kleiner})}$$

Dus de gravitatie-energie E_g neemt af (wordt meer negatief) als de baanstraal kleiner wordt.

- Als de baanstraal van het ISS kleiner wordt, dan verplaatst het ISS zich in de richting van het aardoppervlak. De gravitatiekracht verricht dus positieve arbeid, omdat de richting van de gravitatiekracht gelijk aan is aan de bewegingsrichting. Verricht een kracht positieve arbeid, dan neemt de bijbehorende energie af. De gravitatie-energie neemt dus af als de baanstraal kleiner wordt.

- c ► De kinetische energie $E_{k,A}$ bij de lancering van het ISS bereken je met de wet van behoud van energie. Zie figuur 8.43 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.43

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

$$E_{g,A} + E_{k,A} = E_{g,B} + E_{k,B} + Q$$

$$E_{g,B} = -1,46 \cdot 10^{13} \text{ J (zie vraag a)}$$

$$Q = 0 \text{ J} \quad (\text{Als wordt gevraagd 'minstens', stel je de ontstane warmte op 0 J.})$$

- De gravitatie-energie $E_{g,A}$ van het ISS bij de lancering bereken je met de formule voor de gravitatie-energie.

$$E_{g,A} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_A}$$

$$G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m = 2,46 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

$$M = M_{\text{aarde}} = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$\text{Invullen levert: } E_{g,A} = -6,674 \cdot 10^{-11} \times \frac{2,46 \cdot 10^5 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{6,371 \cdot 10^6} = -1,539 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

- De kinetische energie $E_{k,B}$ van het ISS op 342 km hoogte bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_{k,B} = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$m = 2,46 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

- De snelheid v_B van het ISS op 342 km hoogte bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v_B = \frac{2\pi r}{T}$$

$$r = r_{\text{aarde}} + h = 6,713 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie vraag a})$$

$$T = 92 \text{ min} = 92 \times 60 = 5,52 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\text{Invullen levert: } v_B = \frac{2\pi \cdot 6,371 \cdot 10^6}{5,52 \cdot 10^3} = 7,252 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van m en v_b in de formule $E_{k,B} = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$:

$$E_{k,B} = \frac{1}{2} \times 2,46 \cdot 10^5 \times (7,252 \cdot 10^3)^2 = 6,469 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

- Invullen van $E_{g,A}$, $E_{g,A}$, $E_{k,B}$ en Q in de formule $E_{g,A} + E_{k,A} = E_{g,B} + E_{k,B} + Q$:

$$-1,539 \cdot 10^{13} + E_{k,A} = -1,46 \cdot 10^{13} + 6,469 \cdot 10^{12} + 0$$

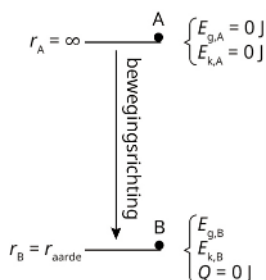
$$E_{k,A} = 7,2590 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } E_{k,A} = 7,26 \cdot 10^{12} \text{ J.}$$

Opgave 40

- a ► Dat de snelheid gelijk is aan de ontsnappingssnelheid als een ruimtevaartuig vanaf grote afstand een vrije val op een hemellichaam uitvoert, leg je uit met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.44 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.44

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

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

$$0 = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_B} + \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$\text{Hieruit volgt: } v_B = \sqrt{2 \cdot G \cdot \frac{m \cdot M}{r_B}}$$

En dit is ook de formule voor de berekening van de ontsnappingsnelheid.

- b De capsule beweegt in de atmosfeer steeds met de draaiing van de aarde mee. In het laatste deel is de snelheid van de capsule dus ongeveer de baansnelheid van de aarde. De snelheid van 7 m s^{-1} is de snelheid ten opzichte van het water. Die snelheid neem je waar als je op de aarde kijkt naar de plons in het water.

Dus Nadieh heeft gelijk.

- c – ► Dat de hoeveelheid chemische energie die minstens nodig is voor een zachte landing op de maan gelijk is aan de warmte Q leg je uit met behulp van het begrip arbeid.

De hoeveelheid nuttige chemische energie is gelijk aan de positieve arbeid die de motor in de remraket verricht: $W_{\text{motor}} = E_{\text{ch,nuttig}}$

Omdat er 'minstens' in de vraag staat, geldt $W_{\text{rem}} = E_{\text{ch,in}}$.

De remkracht verricht negatieve arbeid waardoor warmte ontstaat: $W_{\text{rem}} = Q$.

Dus $E_{\text{ch,in}} = Q$.

- ► De hoeveelheid warmte Q die ontstaat bij een zachte landing op de maan bereken je met de wet van behoud van energie.

Zie figuur 8.45 voor een schets van de situatie.

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

$$0 = E_{g,B} + Q$$

$$0 = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_B} + Q$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m = 15 \text{ ton} = 15 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

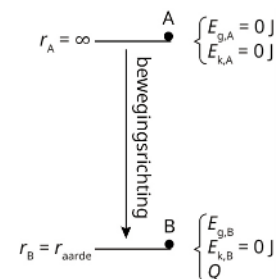
$$M = M_{\text{maan}} = 0,0735 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$r = r_{\text{maan}} = 1,738 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$\text{Invullen levert: } 0 = -6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{15 \cdot 10^3 \times 0,0735 \cdot 10^{24}}{1,738 \cdot 10^6} + Q$$

$$Q = 4,231 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } Q = 4,2 \cdot 10^{10} \text{ J.}$$



Figuur 8.45

- ► Het aantal m^3 raketbrandstof dat minstens nodig is voor een zachte landing op de maan bereken je met de formule voor de chemische energie.

$$E_{\text{ch}} = r_V \cdot V$$

$$E_{\text{ch}} = 4,2 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$r_V = 34 \text{ GJ m}^{-3} = 34 \cdot 10^9 \text{ J m}^{-3}$$

$$\text{Invullen levert: } 4,2 \cdot 10^{10} = 34 \cdot 10^9 \cdot V$$

$$V = \frac{4,2 \cdot 10^{10}}{34 \cdot 10^9} = 1,235 \text{ m}^3$$

$$\text{Afgerond: } V = 1,2 \text{ m}^3.$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

Opgave 41

- a ► De arbeid die de gravitatiekracht verricht bereken je met het verschil in gravitatie-energie van de satelliet op de aarde en op $35,8 \cdot 10^3$ km hoogte.

$$W_g = E_{g,aarde} - E_{g,geo} \quad (W_g \text{ is negatief, want bewegingsrichting en richting } F_g \text{ zijn tegengesteld.})$$

- De gravitatie-energie bereken je met de formule voor de gravitatie-energie.

$$E_{g,aarde} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_{aarde}} \text{ en } E_{g,geo} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_{aarde+h}}$$

$$G = 6,67430 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m = 3,90 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$r_{aarde} = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31, voetnoot 3})$$

$$h = 35,8 \cdot 10^3 \text{ km} = 35,8 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Invullen levert:

$$E_{g,aarde} = -6,674 \cdot 10^{-11} \times \frac{3,90 \cdot 10^3 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{6,378 \cdot 10^6} = -2,437 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

$$E_{g,geo} = -6,674 \cdot 10^{-11} \times \frac{3,90 \cdot 10^3 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{6,378 \cdot 10^6 + 35,8 \cdot 10^6} = -3,685 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

- Invullen van $E_{g,geo}$ en $E_{g,aarde}$ in de formule $W_g = E_{g,geo} - E_{g,aarde}$:

$$W_g = -2,437 \cdot 10^{11} - (-3,685 \cdot 10^{10}) = -2,0685 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_g = -2,07 \cdot 10^{11} \text{ J.}$$

- b ► Dat de kinetische energie van de satelliet in de geostationaire baan met $1,79 \cdot 10^{10} \text{ J}$ is toegenomen als de lancering in Frans-Guyana heeft plaatsgevonden, bereken je met de kinetische energie van de raket op de draaiende aarde en de kinetische energie van de raket in de geostationaire baan.

$$\Delta E_k = E_{k,geo} - E_{k,aarde}$$

- De kinetische energie bereken je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$m = 3,90 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

- De baansnelheid v bereken je met de formule voor de baansnelheid.

$$v_{geo} = \frac{2\pi r_{geo}}{T} \text{ en } v_{aarde} = \frac{2\pi r_{aarde}}{T}$$

$$r_{aarde} = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31, voetnoot 3})$$

$$T = 24 \times 3600 = 86\,400 \text{ s}$$

Invullen levert:

$$v_{geo} = \frac{2\pi \cdot (6,378 \cdot 10^6 + 35,8 \cdot 10^6)}{86\,400} = 3,0673 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$v_{aarde} = \frac{2\pi \cdot 6,378 \cdot 10^6}{86\,400} = 4,6382 \cdot 10^2 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van m en v in de formule $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$:

$$E_{k,geo} = \frac{1}{2} \times 3,90 \cdot 10^3 \times (3,0673 \cdot 10^3)^2 = 1,835 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$E_{k,aarde} = \frac{1}{2} \times 3,90 \cdot 10^3 \times (4,6382 \cdot 10^2)^2 = 4,195 \cdot 10^8 \text{ J}$$

- Invullen van $E_{k,geo}$ en $E_{k,aarde}$ in de formule $\Delta E_k = E_{k,geo} - E_{k,aarde}$:

$$\Delta E_k = 1,835 \cdot 10^{10} - 4,195 \cdot 10^8 = 1,79305 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta E_k = 1,79 \cdot 10^{10} \text{ J.}$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

- c ► De arbeid die de motorkracht heeft verricht, bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$$W_{\text{motor}} + W_g + W_w = \Delta E_k$$

$$W_g = -2,07 \cdot 10^{11} \text{ J (zie vraag a)}$$

$$W_w = 0 \text{ J (In de vraag staat 'minstens heeft verricht'.)}$$

$$\Delta E_k = 1,79 \cdot 10^{10} \text{ J (zie vraag b)}$$

$$\text{Invullen levert: } W_{\text{motor}} - 2,07 \cdot 10^{11} = 1,79 \cdot 10^{10}$$

$$W_{\text{motor}} = 2,2490 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } W_{\text{motor}} = 2,25 \cdot 10^{11} \text{ J.}$$

Opgave 42

- a ► De toename van de gravitatie-energie ΔE_g bereken je met de gravitatie-energie op de evenaar en de gravitatie-energie in de baan op 500 km hoogte.

$$\Delta E_g = E_{g,500 \text{ km}} - E_{g,\text{evenaar}}$$

$$E_{g,500 \text{ km}} = -17,403 \text{ GJ} = -17,403 \cdot 10^9 \text{ J}$$

- De gravitatie-energie op de evenaar bereken je met de formule voor de gravitatie-energie.

$$E_{g,\text{evenaar}} = -G \cdot \frac{m \cdot M}{r_{\text{evenaar}}}$$

$$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$m = 300,0 \text{ kg}$$

$$M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$r_{\text{evenaar}} = 6,378 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31, voetnoot 3})$$

$$h = 500 \text{ km} = 500 \cdot 10^3 \text{ m}$$

Invullen levert:

$$E_{g,\text{evenaar}} = -6,6743 \cdot 10^{-11} \times \frac{300,0 \times 5,972 \cdot 10^{24}}{6,378 \cdot 10^6} = -1,8748 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

- Invullen van $E_{g,500 \text{ km}}$ en $E_{g,\text{evenaar}}$ in de formule $\Delta E_g = E_{g,500 \text{ km}} - E_{g,\text{evenaar}}$:

$$\Delta E_g = -17,403 \cdot 10^9 - (-1,8748 \cdot 10^{10}) = 1,34500 \cdot 10^9 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } \Delta E_g = 1,345 \cdot 10^9 \text{ J.}$$

- b ► Of de omlooptijd T toeneemt of afneemt als de hoogte kleiner wordt, leg je uit met de formule voor de baansnelheid.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

r wordt kleiner. (De hoogte h wordt kleiner, dus de baanstraal ($r = r_{\text{aarde}} + h$) wordt kleiner.)

- Of de baansnelheid v kleiner wordt, leg je uit met de formule voor de kinetische energie.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

E_k wordt groter. (In figuur 56 zie je dat bij kleinere hoogte h de waarde van E_k groter is.)

m blijft gelijk.

$$\text{Invullen levert: } (E_k \text{ wordt groter}) = \frac{1}{2} (m \text{ blijft gelijk}) \cdot v^2$$

Dus v wordt groter als de hoogte kleiner wordt.

- Invullen van de veranderingen van v en r in de formule $v = \frac{2\pi r}{T}$:

$$(v \text{ wordt groter}) = \frac{2\pi (r \text{ wordt kleiner})}{T}$$

Dus de omlooptijd T wordt kleiner.

Dus de omlooptijd neemt op den duur af.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

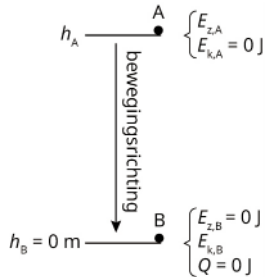
- c ▶ De gemiddelde wrijvingskracht F_w bereken je met de formule voor de wrijvingsarbeid.
- $$W_w = -F_w \cdot s$$
- $$s = 7,2 \cdot 10^{11} \text{ m}$$
- ▶ De arbeid door de wrijvingskracht W_w bereken je met de wet van arbeid en kinetische energie.
- $$\Sigma W = \Delta E_k$$
- $$W_g + W_w = \Delta E_k$$
- ▶ W_g bereken je met behulp van figuur 56.
- $$W_g = \Delta E_g = E_{k,500} - E_{k,450} \quad (\text{Positief, want de richting van } F_g \text{ is gelijk aan de richting van de satelliet.})$$
- $$W_g = -17,403 - (-17,512) = 0,109 \text{ GJ} = 1,09 \cdot 10^8 \text{ J}$$
- ▶ ΔE_k bereken je met behulp van figuur 56.
- $$\Delta E_k = E_{k,500} - E_{k,450} = 8,694 - 8,766 = -0,072 \text{ GJ} = -7,2 \cdot 10^7 \text{ J}$$
- ▶ Invullen van W_g en ΔE_k in de formule $W_g + W_w = \Delta E_k$:
- $$1,09 \cdot 10^8 + W_w = -7,2 \cdot 10^7$$
- $$W_w = -1,810 \cdot 10^8 \text{ J}$$
- ▶ Invullen van W_w en s in de formule $W_w = -F_w \cdot s$:
- $$-1,810 \cdot 10^8 = -F_w \cdot 7,2 \cdot 10^{11}$$
- $$F_w = \frac{-1,810 \cdot 10^8}{-7,2 \cdot 10^{11}} = 2,514 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$
- Afgerond: $F_w = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.
- d De aarde draait naar het oosten, dus de satelliet heeft een afwijking in westelijke richting.

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

8.6 Afsluiting

Opgave 43 Vrije val

- a ► De afstand AB bereken je met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.46 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.46

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

$$E_{z,A} = E_{k,B}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2$$

$$g \cdot h = \frac{1}{2} v_B^2 \quad (\text{na wegdelen van } m)$$

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

$$v_B = 15,2 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 9,81 \cdot h = \frac{1}{2} \times 15,2^2$$

$$h = \frac{15,2^2}{2 \times 9,81} = 11,776 \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } h = 11,8 \text{ m.}$$

Dus de afstand AB is 11,8 m.

- b ► De grootte van de middelpuntzoekende kracht in punt C bereken je met de formule voor de middelpuntzoekende kracht.

$$F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v_C^2}{r}$$

$$m = 65 \text{ kg}$$

$$r = 5,0 \text{ m}$$

- De snelheid v_C bereken je met de snelheid in B en de snelheidstoename.

$$v_C = 15,2 + 1,8 = 17,0 \text{ m s}^{-1}$$

- Invullen van m , v_C en r in de formule $F_{\text{mpz}} = \frac{m \cdot v_C^2}{r}$:

$$F_{\text{mpz}} = \frac{65 \times 17,0^2}{5,0} = 3,757 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_{\text{mpz}} = 3,8 \cdot 10^3 \text{ N.}$$

- c ► De grootte van de wrijvingskracht in punt C bepaal je met de lengte van de pijl voor F_w en de krachtschaal.

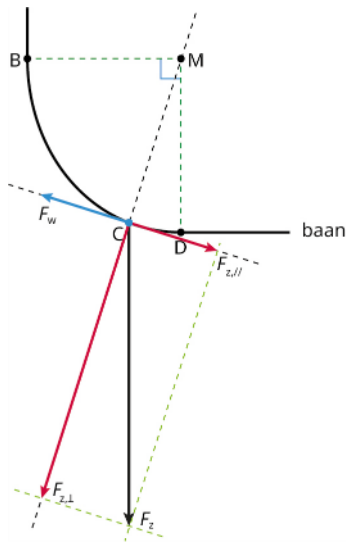
- De krachtschaal bepaal je met de grootte van F_z en de lengte van de pijl van F_z .

In figuur 58 meet je dat de lengte van de pijl van F_z gelijk is aan 4,0 cm.

$$F_z = m \cdot g = 250 \times 9,81 = 2,453 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Dus de schaal is $4,0 \text{ cm} \triangleq 2,453 \cdot 10^3 \text{ N}$.

- De lengte van de pijl voor F_w bepaal je met de wet(ten) van Newton en de krachten in punt C. In punt C is de snelheid maximaal. Dus is er geen versnelling of vertraging. De resulterende kracht in de bewegingsrichting is 0 N. In de bewegingsrichting werken de wrijvingskracht en de component van de zwaartekracht langs de baan. Dus $F_w = F_{z,||}$. Zie de constructie in figuur 8.47.



Figuur 8.47

In figuur 8.47 meet je dat de lengte van de pijl van $F_w = 1,4$ cm is.

- Combineren met de krachtenschaal:

$$4,0 \text{ cm} \triangleq 2,453 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$1,4 \text{ cm} \triangleq F_w$$

$$F_w = \frac{1,4 \times 2,453 \cdot 10^3}{4,0} = 8,59 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\text{Afgerond: } F_w = 8,6 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

- d ► De vertraging van de cabine met koppelstuk bereken je met de tweede wet van Newton en de krachten in de horizontale richting.

$$F_{\text{res}} = m \cdot a \text{ en } F_{\text{res}} = F_{\text{rem}}$$

$$F_{\text{rem}} = m \cdot a$$

$$m = m_{\text{cabine}} + m_{\text{koppelstuk}} = 250 + 30 = 280 \text{ kg}$$

- De remkracht F_{rem} bereken je met de formule voor het vermogen.

$$P_{\text{rem}} = F_{\text{rem}} \cdot v$$

$$P_{\text{rem}} = 12 \text{ kW} = 12 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$v = 15 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } 12 \cdot 10^3 = F_{\text{rem}} \cdot 15$$

$$F_{\text{rem}} = \frac{12 \cdot 10^3}{15} = 8,00 \cdot 10^2 \text{ N}$$

- Invullen van F_{rem} en m in de formule $F_{\text{rem}} = m \cdot a$:

$$8,00 \cdot 10^2 = 280 \cdot a$$

$$a = \frac{8,00 \cdot 10^2}{280} = 2,8571 \text{ m s}^{-2}$$

$$\text{Afgerond: } a = 2,9 \text{ m s}^{-2}.$$

- e ► Welk diagram het juiste is, beredeneer je met de formule voor de kinetische energie.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

E_k neemt lineair af met de tijd.

m blijft gelijk.

Invullen levert: (E_k neemt lineair af) = $\frac{1}{2}(m \text{ blijft gelijk}) \cdot v^2$

Dus v^2 neemt lineair met de tijd af.

Als v^2 is gehalveerd, dan is v nog niet tot de helft afgenomen.

Dus diagram C is juist.

- f ► De veerconstante C van een veer bereken je met de wet van behoud van energie.
Zie figuur 8.48 voor een schets van de situatie.



Figuur 8.48

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

$$E_{k,D} = 2E_{v,E} \quad (\text{Er zijn twee veren die ingedrukt worden.})$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_D^2 = 2 \times \frac{1}{2} C \cdot v_E^2$$

$$m = 250 + 30 = 280 \text{ kg}$$

$$v_D = 15,0 \text{ m s}^{-1}$$

$$u = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } \frac{1}{2} \times 280 \times 15,0^2 = 2 \times \frac{1}{2} C \cdot 1,2^2$$

$$3,150 \cdot 10^4 = 1,44 \cdot C$$

$$C = \frac{3,15 \cdot 10^4}{1,44} = 2,1875 \cdot 10^4 \text{ N m}^{-1}$$

$$\text{Afgerond: } C = 2,2 \cdot 10^3 \text{ N m}^{-1}.$$

Opgave 44 LEO gaat zakken

- a ► Formule 1 voor de baansnelheid van de satelliet leid je af met de formule voor de middelpuntzoekende kracht en de formule voor de gravitatiekracht.

$$F_{\text{mpz}} = F_g$$

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

$$v^2 = G \cdot \frac{M}{r} \quad (\text{na wegdelen van } m)$$

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

- Formule 2 voor de totale energie leid je af met de formule voor de kinetische energie en de gravitatie-energie.

$$E_{\text{tot}} = E_k + E_g = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + \left(-G \cdot \frac{m \cdot M}{r} \right)$$

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

$$\text{Combineren: } E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} m \cdot \left(\sqrt{G \cdot \frac{M}{r}} \right)^2 + \left(-G \cdot \frac{m \cdot M}{r} \right)$$

5 vwo hoofdstuk 8 uitwerkingen

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} m \cdot G \frac{M}{r} + \left(-G \cdot \frac{m \cdot M}{r} \right)$$

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} G \cdot \frac{m \cdot M}{r} - G \cdot \frac{m \cdot M}{r} = -\frac{1}{2} G \cdot \frac{m \cdot M}{r}$$

- b ► De snelheid van de satelliet bereken je met formule 1.

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$$

$$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \quad (\text{zie Binas tabel 7A})$$

$$M = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

- De straal r bereken je met de straal van de aarde en de hoogte.

$$r = r_{\text{aarde}} + h$$

$$r_{\text{aarde}} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (\text{zie Binas tabel 31})$$

$$h = 425 \text{ km} = 425 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\text{Invullen levert: } r = 6,371 \cdot 10^6 + 425 \cdot 10^3 = 6,796 \cdot 10^6 \text{ m}$$

- Invullen van G , M en r in de formule $v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{r}}$:

$$v = \sqrt{6,6743 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,972 \cdot 10^{24}}{6,796 \cdot 10^6}} = 7,65837 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Afgerond: } v = 7,658 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}.$$

- c ► De energie die de satelliet elke seconde verliest bereken je met de formule voor het vermogen.

$$P = F \cdot v$$

$$v = 7,658 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

De kracht F bereken je met de formule voor de luchtweerstandskracht.

$$F = F_{w,l} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_w \cdot A \cdot v^2$$

$$\rho = 2,28 \cdot 10^{-12} \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{aflezen in figuur 60 bij } h = 425 \text{ km})$$

$$C_w = 2,2$$

$$A = 0,385 \text{ m}^2$$

$$v = 7,658 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

$$\text{Invullen levert: } F = \frac{1}{2} \times 2,28 \cdot 10^{-12} \times 2,2 \times 0,385 \times (7,658 \cdot 10^3)^2 = 5,66 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Invullen van F en v in de formule $P = F \cdot v$:

$$P = 5,66 \cdot 10^{-5} \times 7,658 \cdot 10^3 = 0,43344 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P = 0,43 \text{ W.}$$

De satelliet verliest dus elke seconde 0,43 J aan energie.

$$d - \frac{dE_{\text{tot}}}{dr} = \frac{d\left(-\frac{1}{2}G \cdot m \cdot M \cdot r^{-1}\right)}{dr} = \frac{1}{2}G \cdot m \cdot M \cdot r^{-2} \quad (\text{De afgeleide van } r^{-1} \text{ is } -r^{-2}.)$$

$$- G, m, M \text{ en } r \text{ zijn positief, dus } \frac{dE_{\text{tot}}}{dr} \text{ is positief.}$$

$$\text{Door wrijving neemt } \frac{dE_{\text{tot}}}{dr} \text{ af, dus } \frac{dE_{\text{tot}}}{dr} \text{ is negatief.}$$

$$\text{Als } \frac{dE_{\text{tot}}}{dr} \text{ positief is en } dE_{\text{tot}} \text{ is negatief, dan is } dr \text{ ook negatief.}$$

Dus door de wrijving neemt de hoogte van de satelliet af.