

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

## LEO-satelliet

### 20 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

$$\text{Er geldt: } F_{\text{mpz}} = F_g \text{ met } F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r} \text{ en } F_g = G \frac{mM}{r^2}$$

$$\text{Invullen en omschrijven geeft: } v^2 = \frac{GM}{r}, \text{ dus } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Er geldt:  $E_t = E_k + E_g$ , waarbij

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ met } v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \text{ en } E_g = -G \frac{mM}{r}$$

$$\text{Invullen en omschrijven geeft: } E_t = \frac{1}{2}G \frac{mM}{r} - G \frac{mM}{r} = -\frac{1}{2}G \frac{mM}{r}$$

- inzicht dat  $F_{\text{mpz}} = F_g$  1
- gebruik van  $F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r}$  en  $F_g = G \frac{mM}{r^2}$  1
- gebruik van  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  en  $E_g = -G \frac{mM}{r}$  1
- completeren van de afleidingen 1

### 21 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Voor de snelheid van de satelliet geldt:

$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ . Opzoeken van de waarden van  $G$ ,  $M$  en  $r$ , met  $r$  gelijk aan de straal van de aarde plus de hoogte van de satelliet, en invullen geeft:

$$v = \sqrt{\frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{6,371 \cdot 10^6 + 425 \cdot 10^3}} = 7,658 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

(Op een hoogte van 425 km heeft de LEO-satelliet dus een snelheid van  $7,658 \text{ km s}^{-1}$ .)

- gebruik van  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$  met opzoeken van  $G$  en  $M$  1
- inzicht dat  $r = R_{\text{aarde}} + h$  met opzoeken van  $R_{\text{aarde}}$  1
- completeren van de berekening 1

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

**22 maximumscore 4**

uitkomst:  $0,43 \text{ J s}^{-1}$

voorbeeld van een antwoord:

Voor het energieverlies per seconde geldt:  $P = Fv$

Het energieverlies wordt veroorzaakt door de wrijving:  $F_w = \frac{1}{2} \rho c_w Av^2$

Combineren van deze formules geeft:  $P = \frac{1}{2} \rho c_w Av^3$

De dichtheid van de lucht op 425 km hoogte is  $2,28 \cdot 10^{-12} \text{ kg m}^{-3}$ .

Invullen van de gegevens levert:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 2,28 \cdot 10^{-12} \cdot 2,2 \cdot 0,385 \cdot (7,658 \cdot 10^3)^3 = 0,43 \text{ J s}^{-1}$$

- gebruik van  $P = Fv$  1
- gebruik van  $F_w = \frac{1}{2} \rho c_w Av^2$  1
- bepalen van  $\rho$  tussen  $2,26 \cdot 10^{-12} \text{ kg m}^{-3}$  en  $2,30 \cdot 10^{-12} \text{ kg m}^{-3}$  1
- completeren van de berekening 1

**23 maximumscore 3**

voorbeeld van een antwoord:

–  $\frac{dE_t}{dr} = \frac{1}{2} GmMr^{-2}$

– ( $G$ ,  $m$ ,  $M$  en  $r$  zijn positief, dus)  $\frac{dE_t}{dr}$  is positief.

Door wrijving neemt  $E_t$  af, dus  $dE_t$  is negatief.

Hieruit volgt dat  $dr$  negatief is. (Dus door de wrijving neemt de hoogte van de satelliet af.)

- noteren van de afgeleide van  $E_t(r)$  1
- inzicht dat door wrijving de totale energie afneemt 1
- inzicht dat  $\frac{dE_t}{dr}$  positief is en dat  $dr$  dus hetzelfde teken heeft als  $dE_t$  1

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

**24 maximumscore 4**

uitkomst: 61 m (met een marge van 10 m)

voorbeeld van een antwoord:

Het hoogteverlies per dag is gelijk aan de steilheid van de raaklijn aan de grafiek bij  $h = 425$  km. Teken en van de raaklijn en bepalen van de helling

$$\text{levert: } \left( \frac{\Delta h}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}} = \frac{450,0 - 399,5}{60,0 - 7,0} = 0,953 \text{ km dag}^{-1}.$$

De omlooptijd van de satelliet kan berekend worden met  $v = \frac{2\pi r}{T}$ , met

$r = R_{\text{aarde}} + h$ . Invullen en uitwerken levert:

$$T = \frac{2\pi \cdot (6,371 \cdot 10^6 + 425 \cdot 10^3)}{7,658 \cdot 10^3} = 5,576 \cdot 10^3 \text{ s} = 6,454 \cdot 10^{-2} \text{ dag}$$

Dus het hoogteverlies per omwenteling is  $0,953 \cdot 10^3 \cdot 6,454 \cdot 10^{-2} = 61$  m

- inzicht dat de steilheid van het diagram bij  $h = 425$  km bepaald moet worden 1
- gebruik van  $v = \frac{2\pi r}{T}$  met  $r = R_{\text{aarde}} + h$  1
- inzicht dat  $\frac{\Delta h}{\Delta t}$  vermenigvuldigd moet worden met de omlooptijd 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

*Opmerking*

*Als de kandidaat bij vraag 21 het inzicht dat  $r = R_{\text{aarde}} + h$  niet heeft getoond of hierin een rekenfout heeft gemaakt en dit antwoord opnieuw gebruikt, dan dit bij deze vraag niet opnieuw aanrekenen.*

**25 maximumscore 2**

voorbeeld van een antwoord:

Omdat de hoogte  $h$  afneemt, neemt ook de straal  $r$  af. ( $G$  en  $M$  zijn

constant,) dus volgens de formule  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$  neemt de snelheid toe.

- inzicht dat de straal  $r$  afneemt 1
- gebruik van formule (1) en consequente conclusie 1