

LEO-satelliet

Low Earth Orbit (LEO) satellieten worden gebruikt voor onderzoek aan het broeikaseffect. Deze satellieten draaien betrekkelijk laag boven het aardoppervlak. Zie figuur 1.

De snelheid van een satelliet kan worden berekend met de formule:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (1)$$

Hierin is:

- v de snelheid in m s^{-1}
- G de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- M de massa van de aarde in kg
- r de baanstraal van de satelliet in m

figuur 1



De totale energie E_t van een satelliet is de som van de kinetische energie en de gravitatie-energie.

De totale energie van een satelliet kan berekend worden met de formule:

$$E_t = -\frac{1}{2}G\frac{mM}{r} \quad (2)$$

Hierin is:

- E_t de totale energie van de satelliet in J
- G de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- m de massa van de satelliet in kg
- M de massa van de aarde in kg
- r de baanstraal van de satelliet in m

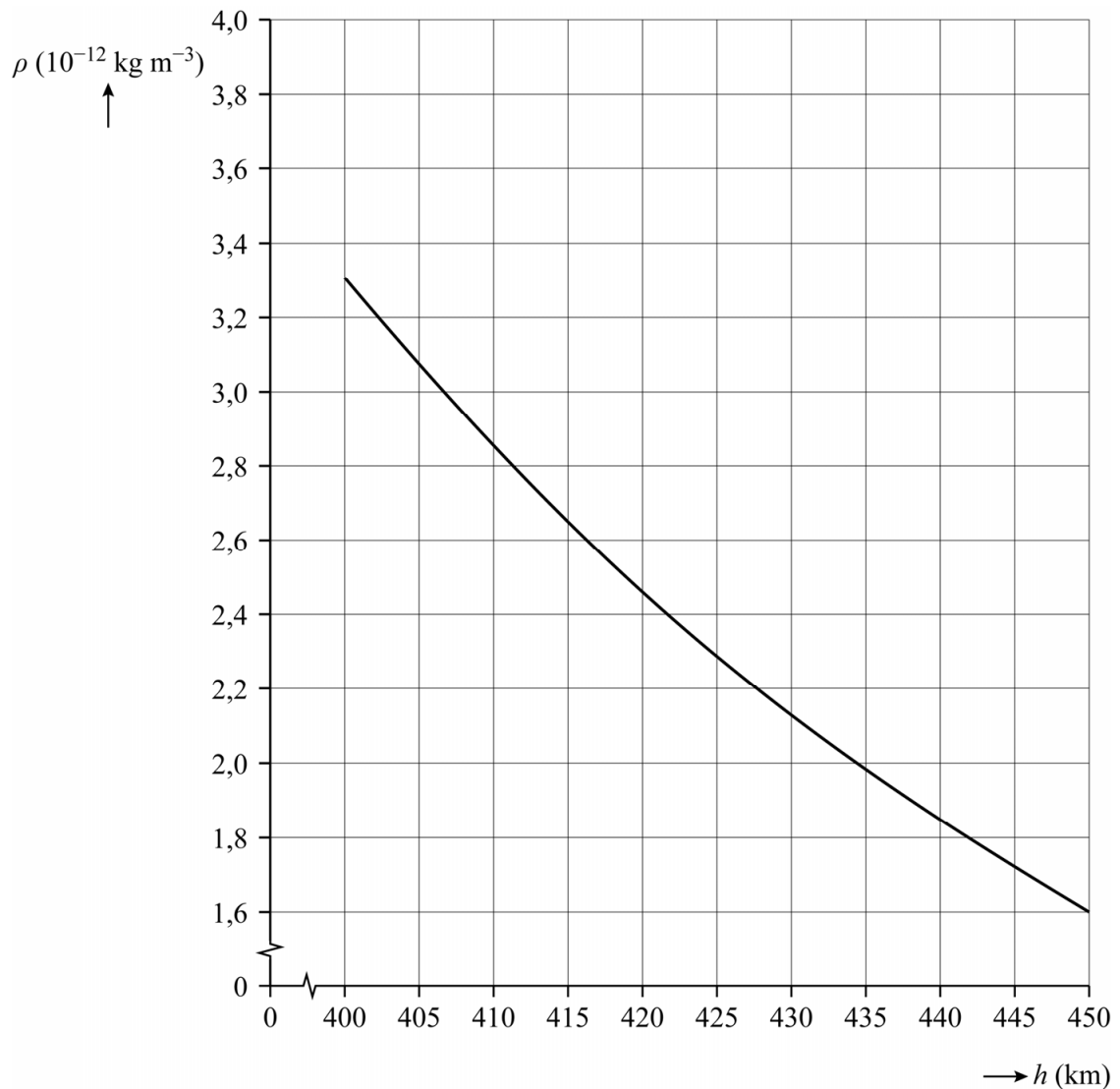
- 4p 20 Leid de formules (1) en (2) af met behulp van formules uit het informatieboek.

Een bepaalde LEO-satelliet bevindt zich op een hoogte van 425 km.

- 3p 21 Toon aan dat deze satelliet een snelheid heeft van $7,658 \text{ km s}^{-1}$.

Op deze hoogte is de atmosferische wrijving niet helemaal verwaarloosbaar. De dichtheid van de atmosfeer hangt sterk af van de hoogte h boven het aardoppervlak. Het verloop van de dichtheid tussen $h = 400 \text{ km}$ en $h = 450 \text{ km}$ is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



De satelliet heeft een c_w -waarde van 2,2 en een frontaal oppervlak van $0,385 \text{ m}^2$.

- 4p **22** Bepaal de energie die deze satelliet elke seconde verliest ten gevolge van atmosferische wrijving.

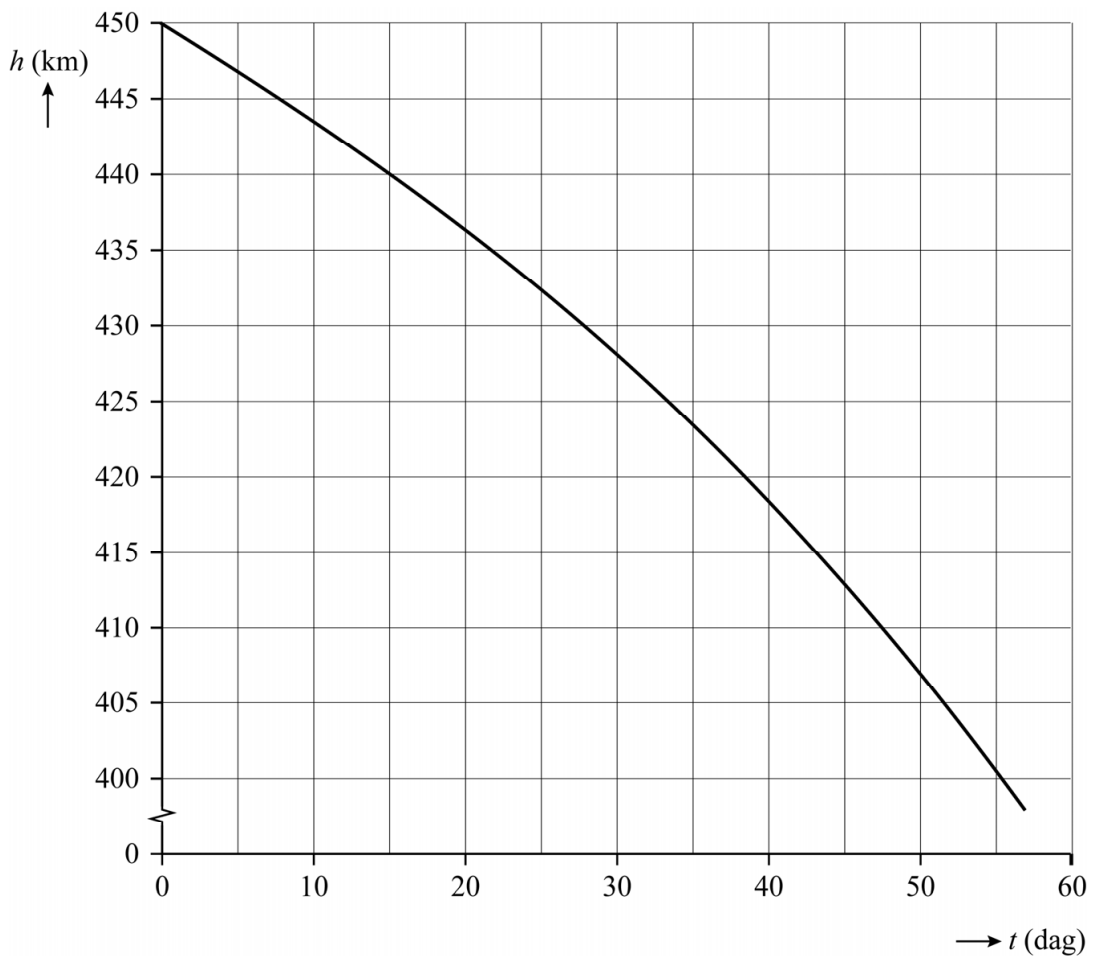
De totale energie uit formule (2) is een functie van r en kun je dus ook noteren als $E_t(r) = -\frac{1}{2} GmMr^{-1}$.

- 3p **23** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de afgeleide $\frac{dE_t}{dr}$ door $E_t(r)$ te differentiëren.
- Leg aan de hand van het teken van $\frac{dE_t}{dr}$ uit dat door de wrijving de hoogte van de LEO-satelliet steeds kleiner wordt.

Als er niet gecorrigeerd zou worden voor het hoogteverlies door de wrijving zou de hoogte van de LEO-satelliet afnemen volgens figuur 3. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



Aan het eind van de levensduur van de satelliet wordt er niet meer gecorrigeerd voor het hoogteverlies.

- 4p **24** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het hoogteverlies per omwenteling om de aarde van de satelliet die zich op een hoogte van 425 km bevindt. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Aan het eind van de levensduur verandert de baansnelheid van de satelliet.

- 2p **25** Leg met behulp van formule (1) uit of deze baansnelheid steeds kleiner of steeds groter wordt.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift, dat na afloop van het examen wordt gepubliceerd.