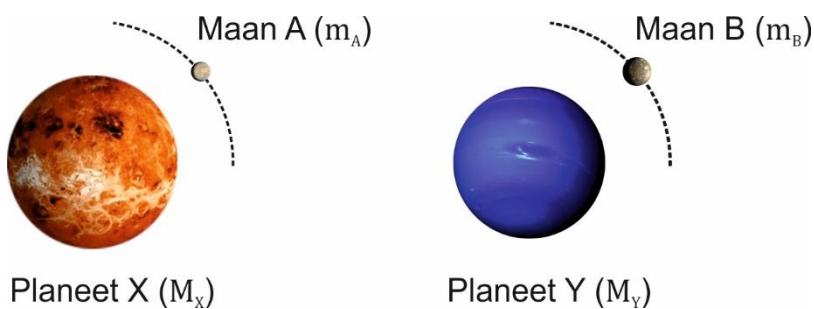


Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

### Opgave 1

De massa van planeet Y is twee keer zo groot als de massa van planeet X ( $M_Y = 2 \cdot M_X$ ).  
De massa van maan B is twee keer zo groot als de massa van maan A ( $m_B = 2 \cdot m_A$ ).  
De twee manen beschrijven een cirkelvormige baan met gelijke straal.



- Bereken** de verhouding tussen de versnellingen van de beide satellieten:  $a_B / a_A$ .
- Bereken** de verhouding tussen de gravitatiekrachten van planeet op satelliet:  $F_{G Y,B} / F_{G X,A}$ .
- Bereken** de verhouding tussen de omlooptijden van de satellieten:  $T_B / T_A$ .

### Opgave 2

Astronaut Karel nadert in een ver weg gelegen zonnestelsel een onbekende planeet. Hij begeeft zich met zijn ruimteschip in een cirkelvormige omloopbaan rond de planeet en zet zijn aandrijving uit. De omloopbaan is stabiel. Volgens de boordinstrumenten bevindt het ruimteschip zich op een hoogte van 400 km boven het planeetoppervlak en heeft de baan van het ruimteschip een straal van 4610 km. De omlooptijd van het ruimteschip rond de planeet bedraagt 1 uur en 37 minuten.



- Bereken** de massa van de onbekende planeet.  
Karel gaat met een landingsmodule naar het oppervlak van de planeet.
- Bereken** de valversnelling die Karel aan het oppervlak van de planeet ondervindt. De landingsmodule heeft een massa 3,8 ton. Karel wil met een versnelling van  $5,0 \text{ m/s}^2$  starten om terug te keren naar het ruimteschip.
- Bereken** de stuwkracht die de aandrijving van de landingsmodule moet leveren.

### Opgave 3

Low Earth Orbit (LEO) satellieten worden gebruikt voor onderzoek aan het broeikaseffect. Deze satellieten draaien betrekkelijk laag boven het aardoppervlak. Zie nevenstaande afbeelding. De snelheid van een satelliet kan worden berekend met de formule:



$$v = \sqrt{\frac{M \cdot G}{r}} \quad (1)$$

Hierin is:

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

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:

$$E_t = -\frac{1}{2} \cdot G \cdot \frac{m \cdot M}{r} \quad (2)$$

Hierin is:

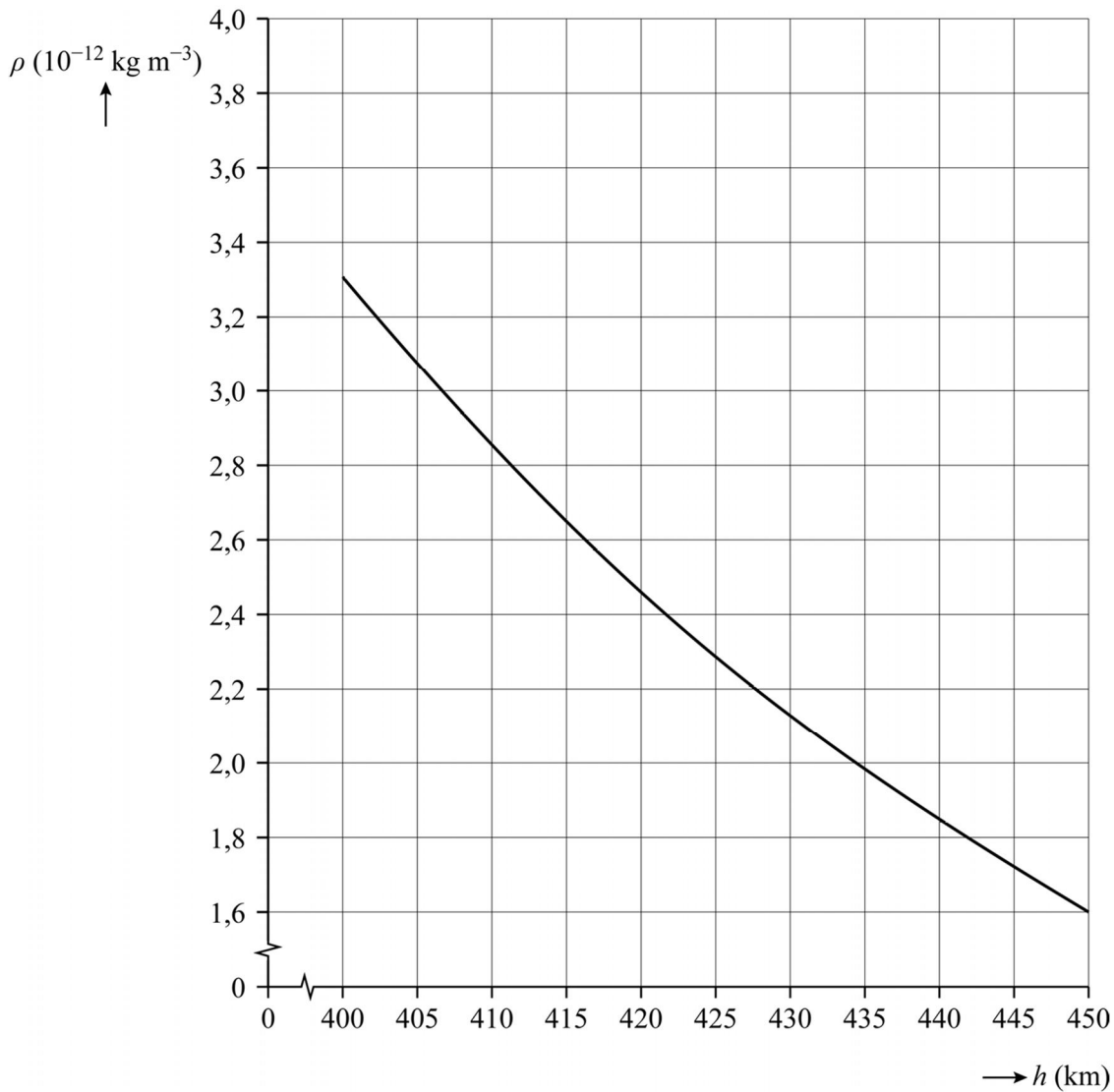
- $E_t$  de totale energie van de satelliet in J;
- $G$  de gravitatieconstante in  $\text{Nm}^2/\text{kg}^2$ ;
- $m$  de massa van de satelliet in kg;
- $M$  de massa van de aarde in kg;
- $r$  de baanstraal van de satelliet in m.

a) Leid de formules (1) en (2) af.

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

b) Toon aan dat deze satelliet een snelheid heeft van 7,658 km/s.

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  $h = 400$  km en  $h = 450$  km is weergegeven in onderstaand diagram.



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

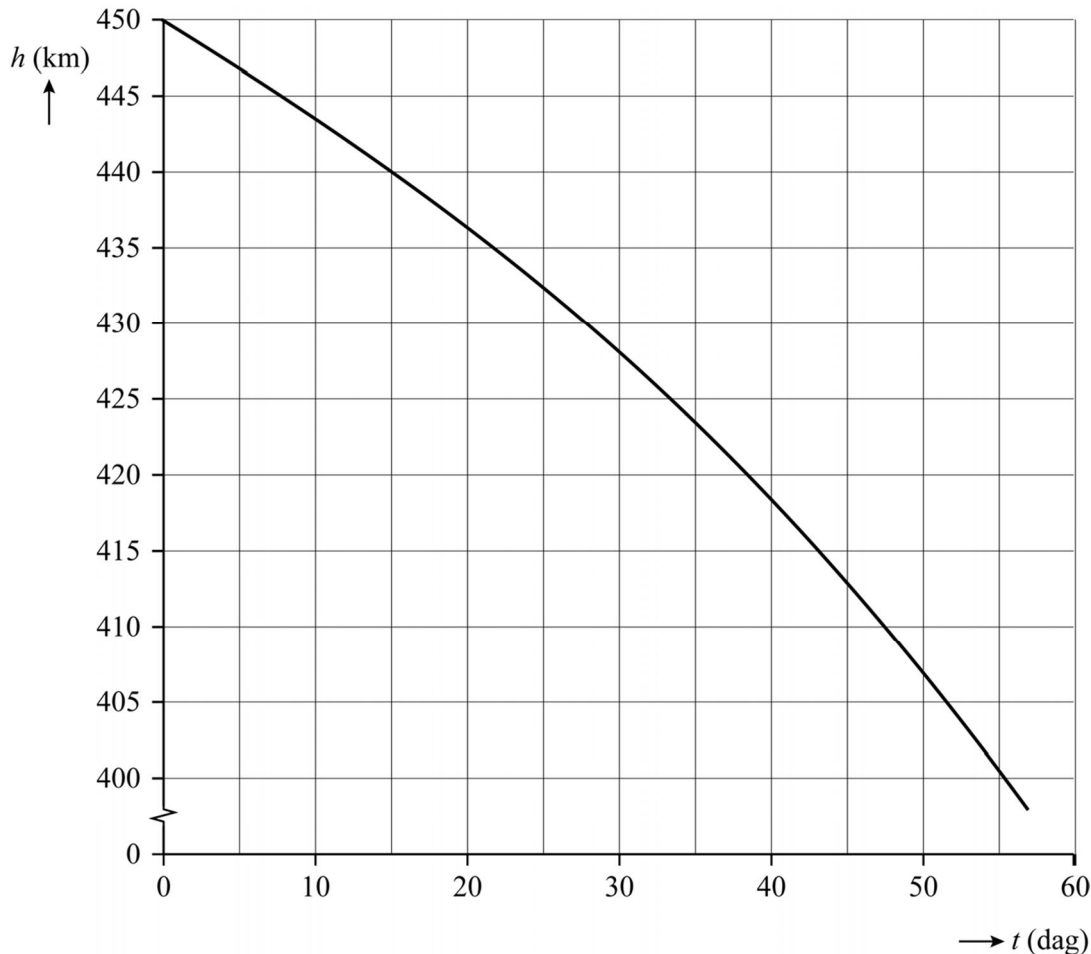
c) **Bepaal** de energie die deze satelliet elke seconde verliest ten gevolge van atmosferische wrijving.

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

d) 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 onderstaand  $(h,t)$ -diagram.



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

e) **Bepaal** met behulp van het  $(h,t)$ -diagram 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.

f) **Leg** met behulp van formule (1) **uit** of deze baansnelheid steeds kleiner of steeds groter wordt