

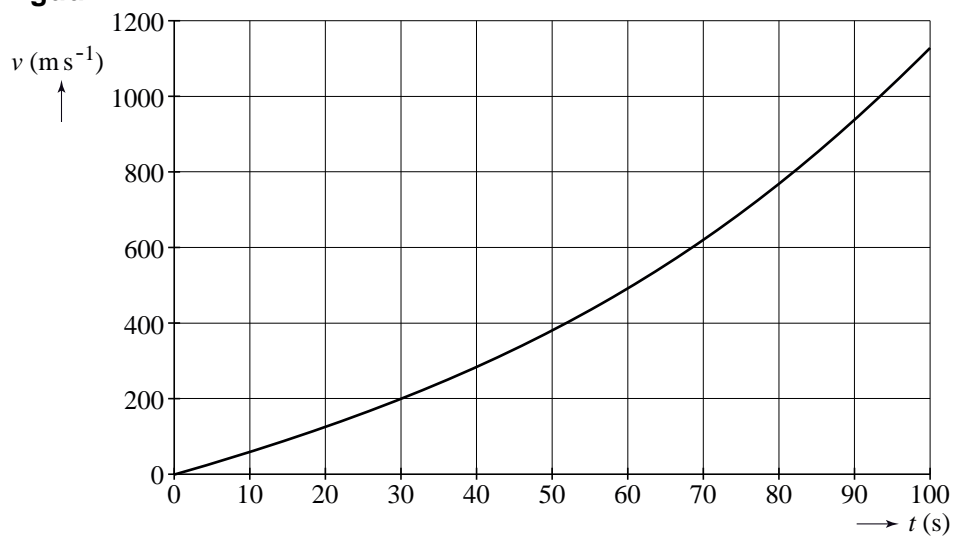
### Opgave 3 Ariane-5-raket

De Europese ruimtevaartorganisatie ESA heeft al enkele malen een Ariane-5-raket gelanceerd.

- 2p **12** Door het uitstoten van verbrandingsgassen wordt de raket voortgestuwd.  
Leg dit uit met een natuurkundige wet.

De beweging tijdens de start van de Ariane-5-raket wordt onderzocht aan de hand van een video-opname. Van de eerste honderd seconde is een  $(v,t)$ -grafiek gemaakt en weergegeven in figuur 1. Figuur 1 staat ook op de uitwerkbijlage.

**figuur 1**



De totale massa van de Ariane-5-raket bij de start is  $7,14 \cdot 10^5$  kg.

- 5p **13** Bepaal aan de hand van de figuur op de uitwerkbijlage de stuwkracht  $F_{\text{stuw}}$  die de Ariane-5-raket ondervindt op  $t = 0$  s.

Elke seconde wordt er  $3,6 \cdot 10^3$  kg brandstof uitgestoten met een snelheid  $u$  van  $3,0 \text{ km s}^{-1}$ . De ESA gebruikt voor de snelheid  $v(t)$  van de raket de formule:

$$v(t) = u \cdot \ln\left(\frac{m(0)}{m(t)}\right) - gt$$

Hierin is:

- $m(0)$  de totale massa bij de start in kg;
- $m(t)$  de totale massa op tijdstip  $t$  in kg;
- $g$  de valversnelling op het aardoppervlak in  $\text{ms}^{-2}$ .

- 3p **14** Laat aan de hand van een berekening zien dat deze formule een goede benadering van de snelheid op  $t = 60$  s geeft.

Voor grotere hoogten geldt voor de gravitatiekracht de formule:

$$F_g = mg \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

Hierin is:

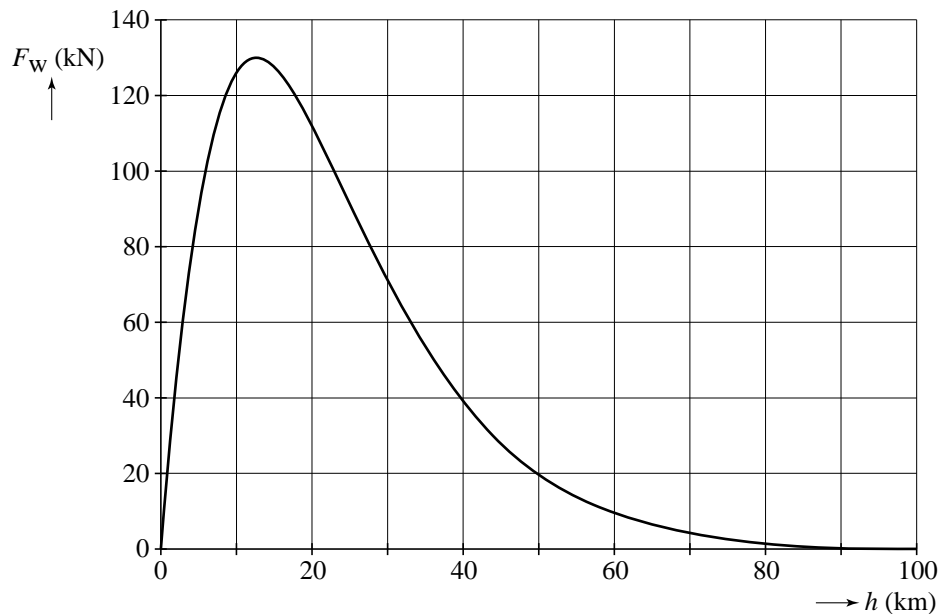
- $R$  de straal van de aarde in m;
- $h$  de hoogte boven de aarde in m;
- $g$  de valversnelling op het aardoppervlak in  $\text{ms}^{-2}$ .

3p 15 Leid deze formule af.

Bij de beweging van de Ariane-5-raket speelt de wrijvingskracht op de Ariane-5-raket ook een rol.

In figuur 2 is het verloop van de wrijvingskracht  $F_w$  tegen de hoogte  $h$  weergegeven.

figuur 2



2p 16 Leg uit waarom  $F_w$  eerst toeneemt en dan weer afneemt.

De voortstuwingskracht  $F_{\text{stuw}}$  die op de Ariane-5-raket werkt is constant.

De versnelling van de Ariane-5-raket blijkt niet constant te zijn.

Voor deze versnelling geldt: 
$$a = \frac{F_{\text{stuw}} - F_g - F_w}{m}$$

4p 17 Leg uit of de versnelling op 100 km hoogte groter of kleiner is dan op 40 km.

uitwerkbijlage

13

