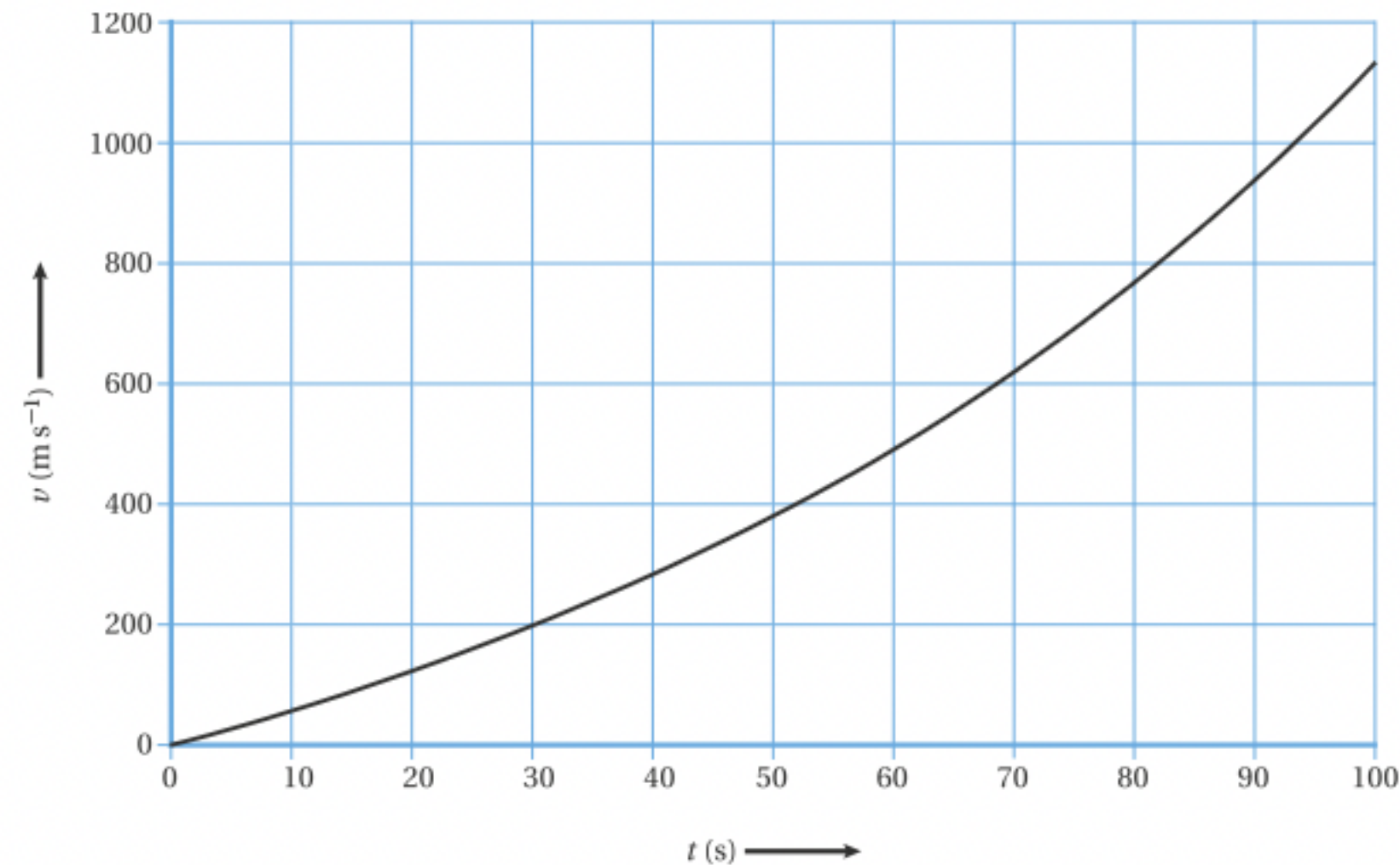


- d 24 De Europese ruimtevaartorganisatie ESA heeft al enkele malen een Ariane-5-raket gelanceerd. Door het uitstoten van verbrandingsgassen wordt de raket voortgestuwd.

a 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 100 s is een  $(v, t)$ -grafiek gemaakt. Zie figuur 7.26. De totale massa van de Ariane-5-raket bij de start is  $7,14 \cdot 10^5$  kg.

b Bepaal aan de hand van figuur 7.26 de stuwkracht  $F_{\text{stuw}}$  die de Ariane-5-raket ondervindt op  $t = 0$  s.



Figuur 7.26

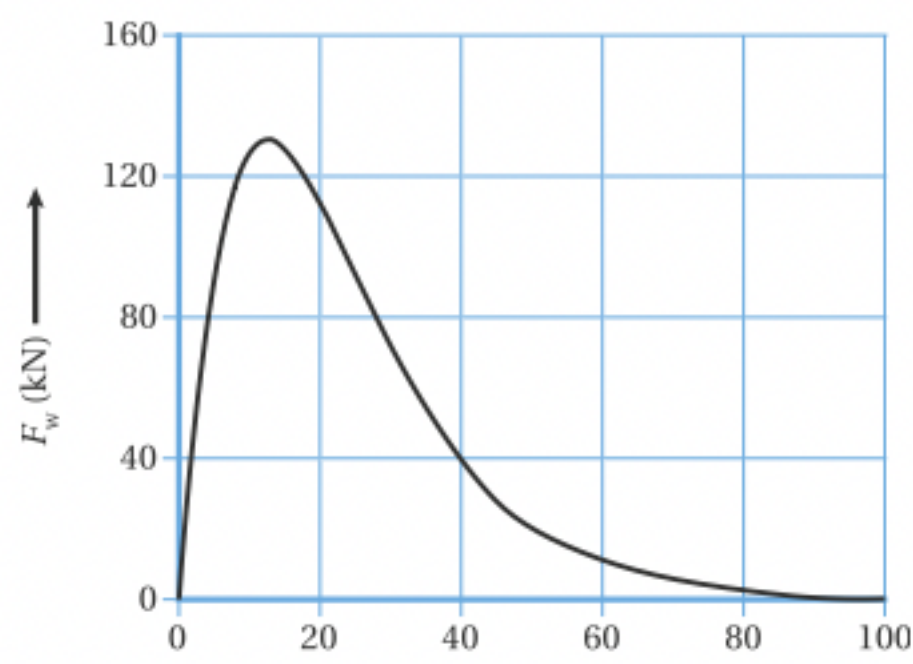
Voor grotere hoogten geldt voor de gravitatiekracht:

$$F_g = m \cdot g \cdot \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

- $F_g$  is de gravitatiekracht in N.
- $m$  is de massa in kg.
- $g$  is de valversnelling op het aardoppervlak in  $\text{ms}^{-2}$ .
- $R$  is de straal van de aarde in m.
- $h$  is de hoogte boven de aarde in m.

c Leid deze formule af.

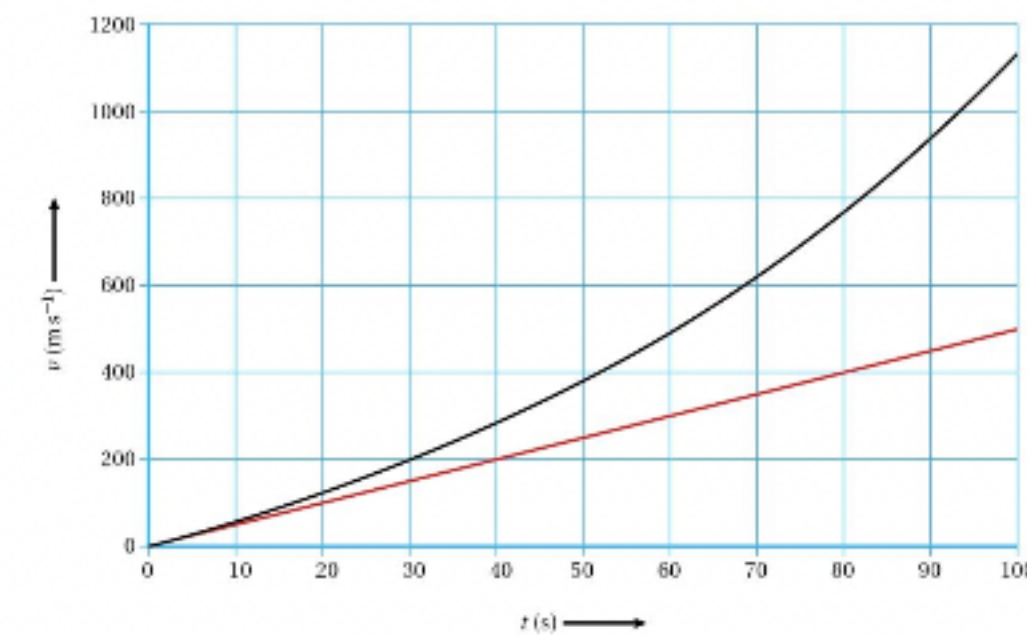
Bij de beweging van de Ariane-5-raket speelt de luchtweerstandskracht op de raket ook een rol. In figuur 7.27 is het verloop van de luchtweerstandskracht  $F_w$  tegen de hoogte  $h$  weergegeven.



#### Opgave 24

- a Volgens de derde wet van Newton (actie = -reactie) is de kracht waarmee de verbrandingsgassen naar achteren worden gestoten even groot als en tegengesteld gericht aan de kracht die de gassen naar voren uitoefenen op de raket.
- b De stuwkracht die op de raket werkt, bereken je met de zwaartekracht en de resulterende kracht op de raket.
- De zwaartekracht bereken je met de formule voor de zwaartekracht.  
De resulterende kracht op de raket bereken je met de tweede wet van Newton.  
De versnelling volgt uit de steilheid van de raaklijn aan de  $(v, t)$ -grafiek van figuur 7.26 van het leerboek.

Zie figuur 7.11.



Figuur 7.11

$$a = \left( \frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

$$a = \frac{500}{100} = 5,0 \text{ ms}^{-2}$$

$$F_{\text{res}} = m \cdot a$$

$$m = 7,14 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

$$F_{\text{res}} = 7,14 \cdot 10^5 \times 5,0$$

$$F_{\text{res}} = 3,57 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$F_{\text{zw}} = m \cdot g$$

$$m = 7,14 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

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

$$F_{\text{zw}} = 7,14 \cdot 10^5 \times 9,81 = 7,00 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$F_{\text{res}} = F_{\text{stuw}} - F_{\text{zw}}$$

$$3,57 \cdot 10^6 = F_{\text{stuw}} - 7,00 \cdot 10^6$$

$$F_{\text{stuw}} = 1,057 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Afgerond:  $1,1 \cdot 10^7 \text{ N}$ .

- c Deze formule leid je af met de formule voor de gravitatiekracht en de formule voor de zwaartekracht.
- In de formule voor de gravitatiekracht op aarde gebruik je  $r = R$ .
- In de formule voor de gravitatiekracht op een hoogte  $h$  boven de aarde gebruik je  $r = R + h$ .

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot m_{\text{aarde}}}{r^2}$$

Als de massa  $m$  zich op het aardoppervlak bevindt, is  $r = R$  en  $F_g = F_{\text{zw}} = m \cdot g$ .

$$m \cdot g = G \cdot \frac{m \cdot m_{\text{aarde}}}{R^2}$$

Hieruit volgt:  $g \cdot R^2 = G \cdot m_{\text{aarde}}$

Als de massa zich op hoogte  $h$  boven het aardoppervlak bevindt, geldt  $r = R + h$ .

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot m_{\text{aarde}}}{(R+h)^2}$$

$$F_g = \frac{m \cdot G \cdot m_{\text{aarde}}}{(R+h)^2} \text{ met } g \cdot R^2 = G \cdot m_{\text{aarde}}$$

$$F_g = \frac{m \cdot g \cdot R^2}{(R+h)^2}$$

$$F_g = m \cdot g \cdot \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

- d De verandering van de luchtweerstandskracht verklaar je met de formule voor de luchtweerstandskracht.

$$F_w = \frac{1}{2} \rho \cdot C_w \cdot A \cdot v^2$$

De wrijvingskracht zal eerst toenemen, doordat de snelheid van de raket toeneemt. Op grotere hoogte is de dichtheid van de lucht kleiner en neemt de wrijvingskracht weer af.

- e Of de versnelling groter of kleiner is, leg je uit met de gegeven formule.
- Bespreek elk van de drie krachten en de massa.

$$a = \frac{F_{\text{stuw}} - F_g - F_w}{m}$$