

## Opgave 5 Kanaalspringer

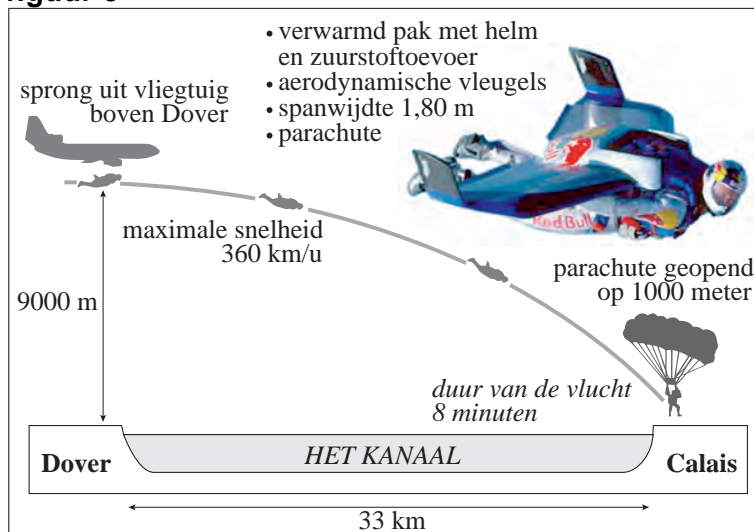
Lees onderstaand artikel en bekijk figuur 5.

### Sprong over Het Kanaal

Stuntman Felix Baumgartner is er als eerste mens in geslaagd om over Het Kanaal te 'springen'. Hij heeft zich boven Dover uit een vliegtuig laten vallen. Vervolgens heeft hij in glijvlucht Het Kanaal overbrugd. Baumgartner begon zijn vlucht op

9000 meter hoogte. Hij vloog dankzij een brede vleugel op zijn rug. Hij bereikte een snelheid van maximaal 360 km per uur. Hij gebruikte zijn parachute pas kort voor de landing.

figuur 5

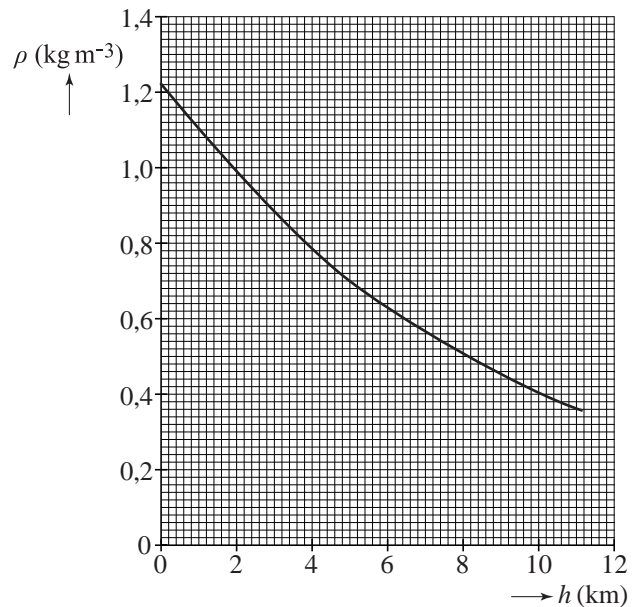


Het vliegtuig vliegt horizontaal op het ogenblik dat de stuntman uit het vliegtuig springt. Veronderstel dat er geen luchtweerstand zou zijn, zodat de sprong gezien kan worden als een vrije val met horizontale beginsnelheid.

3p **16** Bereken welke beginsnelheid nodig is om van 9000 m hoogte 33 km ver te komen.

In werkelijkheid is er wel luchtweerstand. Deze hangt onder andere af van de dichtheid  $\rho$  van de lucht. Deze dichtheid hangt af van de hoogte. Zie figuur 6.

figuur 6



In werkelijkheid is op 7,9 km hoogte de maximale snelheid bereikt. De temperatuur is daar  $-40\text{ }^\circ\text{C}$ .

5p **17** Bepaal de luchtdruk op deze hoogte. Gebruik daarbij figuur 6 en de waarde van  $\rho$  in tabel 12 van Binas.

Veronderstel dat de baan van de stuntman in figuur 5 correct is weergegeven. In het punt waar de grootte van de snelheid maximaal is, geldt dat  $\overline{F_{\text{res}}}$  ongelijk is aan nul.

2p **18** Leg dit uit.

Hans maakt een model van de stuntvlucht (zonder het parachute-gedeelte). Hij veronderstelt dat de zwaartekracht onafhankelijk van de hoogte is. Voor de kracht die de lucht op de stuntman uitoefent, gebruikt hij de volgende formules:

Luchtweerstand tegengesteld aan de richting van de snelheid:  $F_{\text{wrijving}} = c_1 \cdot \rho \cdot v^2$

Liftkracht loodrecht op de richting van de snelheid:  $F_{\text{lift}} = c_2 \cdot \rho \cdot v^2$

Hierin is:

- $c_1$  en  $c_2$  een constante (in  $\text{m}^2$ );
- $\rho$  de dichtheid van de lucht (in  $\text{kg m}^{-3}$ );
- $v$  de snelheid van de stuntman (in  $\text{m s}^{-1}$ ).

De kracht die de lucht op de stuntman uitoefent, ontbindt hij in een horizontale en een verticale kracht.

De grafiek van de dichtheid van figuur 6 benadert hij met de formule:

$$\rho(h) = 1,22 \cdot e^{-\frac{h}{k}}$$

Hierin is:

- $h$  de hoogte boven de grond (in m);
- $k$  een nog nader te bepalen constante (in m).

In onderstaande tabel staat een gedeelte van het model.

**tabel**

regel	model	startwaarden
1	$h = (9000 - y)$	$x = 0$
2	$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$	$y = 0$
3	$\rho = 1,22 \cdot e^{(-h/k)}$	$v_x = 80$
4	$F_{x\_wrijving} = c_1 \cdot \rho \cdot v \cdot v_x$	$v_y = 0$
5	$F_{y\_wrijving} = c_1 \cdot \rho \cdot v \cdot v_y$	$e = 2,718$
6	$F_{x\_lift} = c_2 \cdot \rho \cdot v \cdot v_y$	$k = \dots$
7	$F_{y\_lift} = c_2 \cdot \rho \cdot v \cdot v_x$	$c_1 = 0,045$
8	$F_z = m \cdot g$	$c_2 = 0,18$
		$m = 85,5$
9	$F_x = \dots$	$g = 9,81$
10	$a_x = F_x / m$	$t = 0$
11	$v_x = v_x + a_x \cdot dt$	$dt = 0,05$
12	$x = x + v_x \cdot dt$	
13	$F_y = \dots$	
14	$a_y = F_y / m$	
15	$v_y = v_y + a_y \cdot dt$	
16	$y = y + v_y \cdot dt$	
17	$t = t + dt$	
18	Als $h < 1000$ dan stop eindals	

2p **19** Leg met behulp van een vectortekening uit wat er in de tweede modelregel wordt uitgerekend.

3p **20** Bepaal aan de hand van figuur 6 de startwaarde voor  $k$ .

4p **21** Geef de modelregels 9 en 13.

Op pagina 1 van de uitwerkbijlage staat het  $(h,t)$ - en  $(v,t)$ -diagram die uit het model volgen. De grafieken zijn getekend tot het moment waarop de parachute geopend wordt.

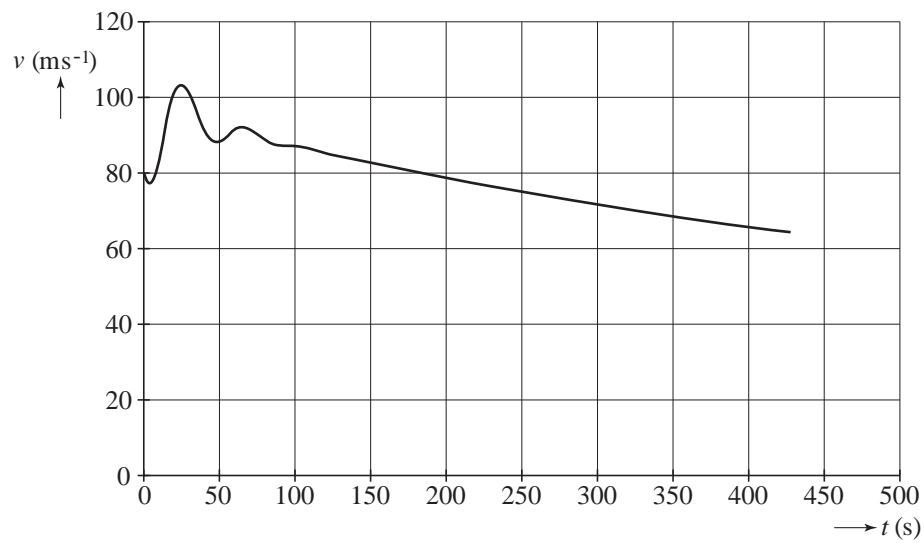
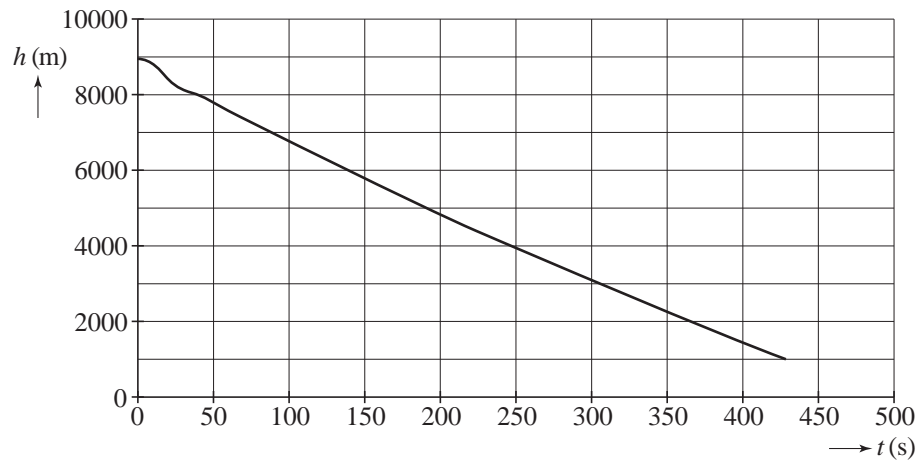
4p **22** Bepaal de afgelegde weg van de springer door de lucht tot het moment waarop hij de parachute opent. Gebruik daartoe één van de diagrammen.

Op pagina 2 van de uitwerkbijlage zijn voor de eerste 40 s van de vlucht zowel het verloop van de snelheid  $v$  als van de resulterende kracht in de  $y$ -richting  $F_y$  weergegeven. De massa van de stuntman is 85,5 kg.

5p **23** Bepaal de hoek met de horizontaal die de baan van de stuntman heeft op  $t = 16$  s. Bepaal hiertoe onder andere de verticale "stoot" die de stuntman heeft ondergaan ten gevolge van de resulterende kracht in de  $y$ -richting.

uitwerkbijlage

22



uitwerkbijlage

23

