

## Parachutespringen

---

Bij parachutespringen spring je uit een vliegtuig. Eerst maak je enige tijd een **vrije val**. Tijdens die vrije val is de parachute nog niet geopend. Daarna open je de parachute en land je met een veilige snelheid op de grond.

Bart springt op een hoogte van 4000 meter uit het vliegtuig en maakt dan een vrije val. Na 50 seconden is hij op 1500 meter hoogte en stopt de vrije val, omdat hij dan zijn parachute opent.

3p 1 Bereken de gemiddelde snelheid in km/uur van Bart tijdens zijn vrije val.

Tijdens de vrije val die Bart maakt, wordt hij afgeremd door de lucht. Daarom duurt de vrije val van Bart langer dan een **theoretische vrije val** over dezelfde afstand. Een theoretische vrije val is een val ten gevolge van de zwaartekracht zonder dat de val door de lucht wordt afgeremd. Voor de hoogte van een voorwerp tijdens een theoretische vrije val die begint op een hoogte van 4000 meter geldt de formule:

$$h = 4000 - 4,9 \cdot t^2 \quad (\text{formule 1})$$

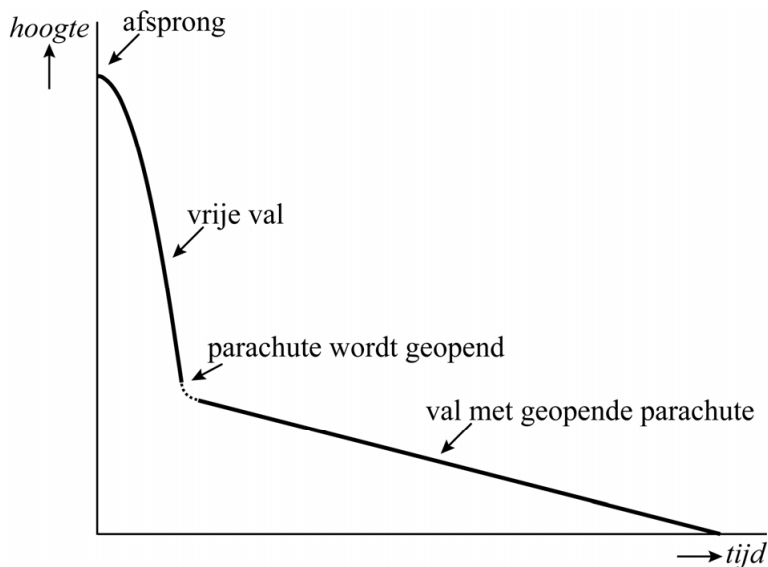
Hierin is  $h$  de hoogte van het voorwerp tijdens de theoretische vrije val (in meters) en  $t$  de tijd (in seconden) vanaf het moment dat de theoretische vrije val begint.

Er kan berekend worden hoeveel seconden de vrije val van Bart van 4000 meter naar 1500 meter langer duurt dan een theoretische vrije val over dezelfde afstand.

4p 2 Voer deze berekening uit. Geef je antwoord in een geheel aantal seconden.

Figuur 1 is een schets van het globale verloop van een parachutesprong. Nadat de parachutist uit het vliegtuig gesprongen is, maakt hij een vrije val. Zodra de parachute geopend is, neemt de snelheid in korte tijd flink af. Daarna wordt een constante valsnelheid bereikt. Dat wil zeggen: tot aan de landing heeft de parachutist dezelfde valsnelheid.

**figuur 1**

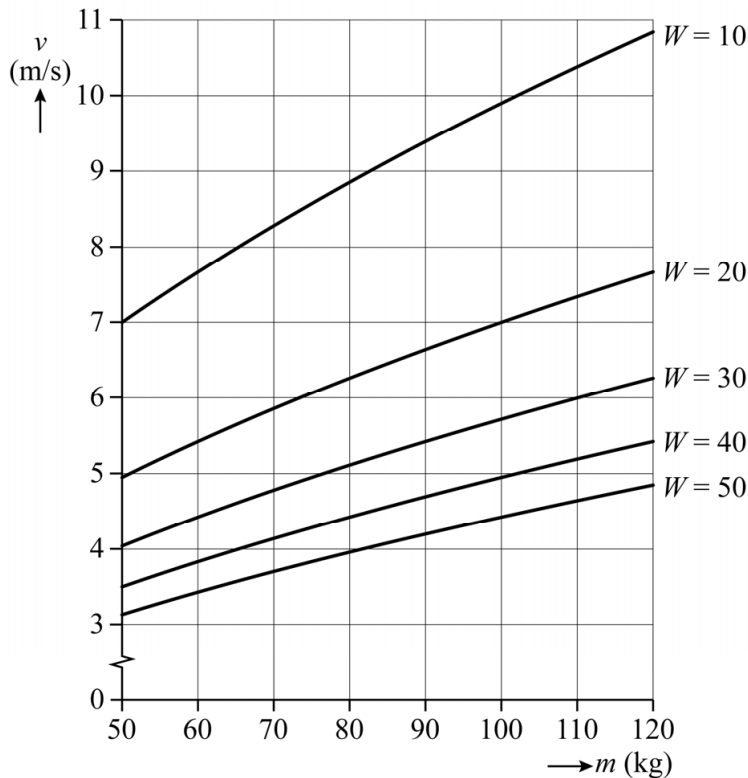


De constante valsnelheid op het laatste deel noemen we  $v$  (in meters per seconde). Deze snelheid is afhankelijk van de massa  $m$  (in kg) van de parachutist (in deze opgave is dat altijd inclusief kleding en parachute) en van de wrijvingscoëfficiënt  $W$  van de parachute. Deze wrijvingscoëfficiënt is een getal dat afhangt van onder andere de grootte, de vorm en het materiaal van de parachute. Zo geldt bijvoorbeeld: hoe groter de parachute, hoe groter de wrijvingscoëfficiënt.

Bij een grotere wrijvingscoëfficiënt heb je meer wrijving met de lucht, waardoor je minder snel valt.

In figuur 2 is voor een aantal waarden van de wrijvingscoëfficiënt  $W$  te zien hoe  $v$  afhangt van  $m$ . Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

**figuur 2**



We kijken nu naar parachutisten met een massa van 90 kg die sprongen maken met parachutes met verschillende wrijvingscoëfficiënten  $W$ .

- 3p **3** Onderzoek met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage of de constante valsnelheid  $v$  van deze personen omgekeerd evenredig is met de wrijvingscoëfficiënt  $W$  van de parachutes.

Bij figuur 2 hoort de volgende formule voor de constante valsnelheid:

$$v = 3,13 \cdot \sqrt{\frac{m}{W}} \quad (\text{formule 2})$$

Hierin is  $v$  de constante valsnelheid in meters per seconde,  $m$  de massa van de parachutist in kg en  $W$  de wrijvingscoëfficiënt van de parachute.

Tina is een parachutist met een massa van 79 kg. De wrijvingscoëfficiënt van haar parachute is 45. Met deze parachute maakt zij een sprong. Precies 34 seconden na de afsprong is zij op 1300 meter hoogte en bereikt zij haar constante valsnelheid. Op dat moment start het laatste gedeelte van haar parachutesprong.

- 3p **4** Bereken met behulp van formule 2 hoelang haar totale sprong duurt. Geef je antwoord in een geheel aantal seconden.

We kijken nu naar één bepaalde parachute met een wrijvingscoëfficiënt van 40. Personen met verschillende massa's kunnen met deze parachute gaan springen. Formule 2 kan dan worden herleid tot de volgende vorm:

$$v = \dots \cdot \sqrt{m} \quad (\text{formule 3})$$

- 3p **5** Geef deze herleiding. Geef daarbij het getal op de puntjes in twee decimalen.