WERKBOEK

WALIBI FYSICA

BELEEF DE NATUURKUNDE IN DE PRAKTIJK

WALIBI HOLLAND

WALIBI FYSICA

INHOUDSOPGAVE

DEEL 1 INLEIDING

Welkom in Walibi Holland! Welkom in het grootste natuurkundelokaal van Nederland! "Wat?" Zul je zeggen, "in Walibi ga je toch een dagje plezier maken? daar houd je je toch niet bezig met natuurkunde?"
Kijk… en dat is dus niet helemaal waar. In Walibi houd je jezelf namelijk de hele dag bezig met natuurkunde. In de meeste gevallen overigens zonder dat je dat zelf in de gaten hebt.
Dit boekje gaat je helpen met de natuurkunde in Walibi Holland te herkennen. Hierbij kijken we naar een deel van de natuurkunde dat men de klassieke mechanica noemt. Dit is de natuurkunde die zich bezig houdt met allerlei zaken die je direct om je heen kan zien en die je direct zelf kan ervaren. Daarbij gaat het vaak om allerlei soorten bewegingen. En bewegen doe je volop in Walibi!
We gaan zo meteen eerst aan de slag met allerlei bewegingen. We gaan bekijken hoe je een beweging vastlegt en hoe je allerlei informatie over de beweging kunt verzamelen en begrijpen. Daarna bekijken we een aantal bijzondere bewegingen. Tot slot gaan we in op hoe een beweging eigenlijk ontstaat en hoe je hem kan beïnvloeden. We komen dan op het gebied terecht van de krachten.

Veel plezier met dit boekje en in Walibi Holland!

Karel Langendonck
Docent natuurkunde, www.fysikarel.nl

René de Wild,
Medewerker sales, Walibi Holland

WALIBI FYSICA

BEWEGiNG VASTLEGGEN

Een bekende uitspraak uit de natuurkunde luidt: "Panta rhei". Dit betekent zoveel als "Alles beweegt" en als je eens om je heen kijkt, blijkt dat ook aardig te kloppen. Alles beweegt inderdaad, een druppel die uit de kraan valt, rijdende auto's op straat, een voetbal die wordt weg getrapt, het treintje van een achtbaan dat zich op allerlei manieren langs een rails beweegt, enz. Er bestaan teveel bewegingen om ze allemaal te noemen.

In de natuurkunde is beweging daarom een belangrijk iets. Wetenschappers verwonderden zich honderden jaren geleden al over allerlei bewegingen die ze om zich heen zagen gebeuren. Zo was het Isaac Newton (1643 – 1727) die een appel uit de boom zag vallen en zich afvroeg hoe de beweging van de appel nou precies plaatsvond. Ook vroeg hij zich af waarom de appel naar de aarde toe viel. Eigenlijk heel eenvoudige vragen, maar wel met antwoorden die onze kijk op de wereld om ons heen sterk veranderd hebben.

In dit hoofdstuk gaan we bekijken hoe bewegingen plaatsvinden en hoe ze beschreven kunnen worden. We gaan bewegingen bekijken met een constante snelheid, maar ook bewegingen die versneld of vertraagd zijn, komen aan bod. Ook worden in het volgende hoofdstuk een aantal bijzondere bewegingen besproken.

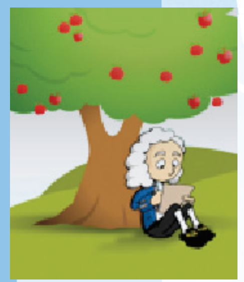


Fig. 2.1 Newton en de appel.

2.1 BEWEGiNG VASTLEGGEN

Als je de opdracht krijgt een beweging te gaan onderzoeken, zul je in het begin misschien niet goed weten wat je moet doen. Maar eigenlijk is de opdracht best eenvoudig. Tijdens het vastleggen van een beweging ben je bezig om te bepalen waar het voorwerp zich bevindt op **welk moment**. Je vergelijkt dus twee grootheden met elkaar. De ene grootheid noemt men de **tijd**, deze wordt standaard uitgedrukt in seconden (maar minuten, uren of jaren kan natuurlijk ook). De andere grootheid is de **plaats** (of positie) van het bewegende voorwerp, deze wordt uitgedrukt in meter (maar het gebruik van de millimeter, de centimeter of de kilometer kan soms handiger zijn).

Nu is het in de natuurkunde gebruikelijk grootheden en eenheden af te korten met een symbool. Voor de grootheid tijd is het symbool t gekozen, met het symbool s voor de eenheid seconde. Voor de plaats is het symbool x gekozen, met het symbool m voor de meter.

Soms komt het voor dat je niet wil weten waar een bewegend voorwerp zich bevindt, maar dat je meer geïnteresseerd bent welke afstand het voorwerp aflegt in een bepaalde tijd. De grootheden plaats en tijd worden dan anders genoemd. De tijd heet nu namelijk het **tijdsinterval** en dit wordt weergegeven met het symbool Δt (spreek uit: delta t). Het symbool Δ wordt in de natuurkunde veel gebruikt als het om verschillen gaat en hier gaat het dus om een tijdsverschil.

Voor de plaats ligt het allemaal iets ingewikkelder. Je kunt namelijk willen weten wat het verschil in afstand is tussen het punt waar je de beweging begonnen bent en het punt waar de beweging eindigde. De grootheid die hier bij hoort, wordt de **verplaatsing** genoemd. Het symbool dat bij de verplaatsing hoort, luidt Δx (het gaat namelijk weer om een verschil, maar nu in plaatsen). Een tweede grootheid die de plaats kan vervangen is de afgelegde weg. Deze wordt aangeduid met het symbool s. De afgelegde weg geeft het aantal meters (of centimeters, kilometers, enz.) weer dat in totaal bewogen is. Het verschil tussen de verplaatsing en de afgelegde weg wordt toegepast in voorbeeld 2.1.

Voorbeeld 2.1

Een wandelaar loopt 450 meter naar voren en vervolgens 250 meter naar achteren.
De verplaatsing en de afgelegde weg kunnen dan bepaald worden door de gegeven situatie eerst te tekenen. In figuur 2.2 is dat gebeurd.

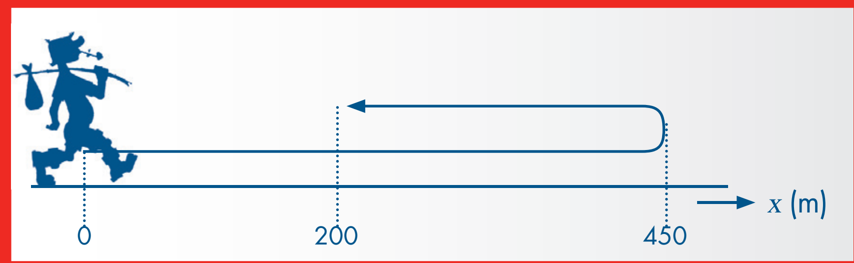


Fig. 2.2 Verplaatsing en afgelegde weg.

De verplaatsing van de wandelaar is in deze situatie 200 meter. In de figuur is namelijk te zien dat het eindpunt van de wandeltocht op plaats 200 meter ligt en het beginpunt bij plaats 0 meter. Het verschil tussen deze twee plaatsen bepaalt de verplaatsing. Dus geldt:

$\Delta x = 200 - 0 = 200$ meter (naar voren)

De afgelegde weg is het totaal aantal meters dat de wandelaar gelopen heeft. Hier is dat dus:

$s = 450 + 250 = 700$ meter

Tot nu toe zijn er een aantal grootheden, met de bijbehorende eenheden langsgekomen. Misschien raak je het overzicht al een klein beetje kwijt en daarom staat in tabel 2.1 een kleine opsomming van wat er tot nu toe aan grootheden gepasseerd is. In deze tabel wordt steeds gebruik gemaakt van de eenheden zoals deze standaard zijn afgesproken.

Grootheid	Symbool	Eenheid	Symbool
tijd	t	seconde	s
tijdsinterval	Δt	seconde	s
plaats	x	meter	m
verplaatsing	Δx	meter	m
afgelegde weg	s	meter	m

Tabel 2.1: Een aantal grootheden en eenheden die te maken hebben met plaats en tijd.

VRAGEN

1. Reken de volgende meetwaarden om in de aangegeven eenheid.
   - **a.** Reken 12,5 cm om in m.
   - **b.** Reken 0,800 km om in m.
   - **c.** Reken 0,5 mm om in m.
   - **d.** Reken 15 minuten om in s.
   - **e.** Reken 1,5 uur om in s.

2. Sandra loopt in een tijdsbestek van 20 s over een afstand van 80 m naar voren. Vervolgens loopt ze over een afstand van 35 m naar achteren. Over deze afstand doet ze 8 s. Tot slot loopt ze gedurende 15 s weer naar voren, over een afstand van 60 m.
   - **a.** Bereken de totale tijd waarin Sandra in beweging is geweest.
   - **b.** Bereken de verplaatsing van Sandra.
   - **c.** Bereken de afgelegde weg van Sandra.

3. Op de foto van figuur 2.3 is "La Grande Roue" te zien, het reuzenrad in Walibi Holland. Op het rad zijn vier punten aangegeven: A, B, C en D. Er is bekend dat het reuzenrad een straal heeft van 23 m.
   - **a.** Bereken de afgelegde weg van punt A naar punt B.
   - **b.** Bereken de afgelegde weg van punt A naar punt C.
   - **c.** Bereken de afgelegde weg van punt A naar punt D.
   - **d.** Bereken de verplaatsing van punt B naar punt D.
   - **e.** Bereken de verplaatsing van punt A naar punt B.

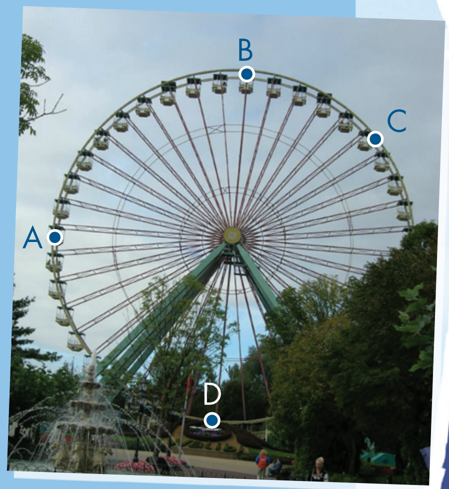


Fig. 2.3 La Grande Roue

4. Op de foto van figuur 2.4 is het eerste deel weergegeven van de achtbaan Goliath. Het treintje wordt langs de helling rechts op de foto naar boven getrokken en op de top van de rechter "bult" losgelaten. Op de baan zijn twee punten weergegeven. Punt A ligt op de top van de eerste bult en punt B op de top van de tweede bult. De hoogte van top A ten opzichte van de grond is 46,8 m. In de figuur is een horizontale stippellijn getekend. Deze geeft de ligging van de grond aan.

Fig. 2.4 Het eerste deel van Goliath


Bedenk een methode waarmee de afgelegde weg tussen punt A en punt B bepaald kan worden uit figuur 2.4. Bepaal vervolgens aan de hand van deze methode een schatting van de afgelegde weg.

2.2 SNELHEiD

Als voorwerpen in beweging zijn, betekent dit altijd dat deze voorwerpen een snelheid hebben. **Snelheid** is een begrip dat dagelijks vele malen gebruikt wordt en waar we ons ook prima een voorstelling van kunnen maken. Als je loopt bereik je bijvoorbeeld een snelheid van zo'n 5 – 6 kilometer per uur (km/uur). Rijd je op je fiets dan haal je met gemak 15 – 20 km/uur. In de auto is het halen van een snelheid van 100 km/uur geen enkel probleem. Maar het kan nog veel harder. Een straaljager vliegt met snelheden die in de buurt liggen van 2.200 km/uur. In tabel 2.2 zijn een aantal snelheden opgenomen om je enige indruk te geven van snelheid.

Bewegend voorwerp	Snelheid (km/uur)
Wandelaar	5 – 6
Fietser	10 – 50
Goliath	30 – 110
Vliegtuig	ca. 900
Straaljager	ca. 2.200
Aarde rond de zon	ca. 100.000
Geluid	ca. 1.200
Licht	1.080.000.000

Tabel 2.2: Voorbeelden van snelheden.

Natuurkundigen zijn over het algemeen niet zo geïnteresseerd in hoe groot een snelheid ongeveer is. Zij willen graag weten hoe groot een snelheid exact is. Daarom heeft men de afspraak gemaakt dat de snelheid gelijk is aan de afstand die een voorwerp aflegt in een bepaalde tijd. In de vorm van een formule kan dit geschreven worden als:

$$\text{Snelheid} = \frac{\text{afgelegde afstand}}{\text{tijd}}$$

Zoals al aangegeven is, maken we in de natuurkunde liever gebruik van symbolen zodat het één en ander wat korter te noteren is. Voor de snelheid gaan we het symbool v gebruiken (van "velocity", de Engelse term voor snelheid). Voor de afgelegde afstand gaan we het symbool s gebruiken en voor de tijd nemen we Δt (het gaat immers altijd om een tijdsinterval). De formule wordt dan:

$$v = \frac{s}{\Delta t}$$

In formules is het altijd gebruikelijk om te werken met standaardeenheden. De standaardeenheid voor een afstand is de meter (m). De standaardeenheid voor een tijd is de seconde (s). Dit betekent dat de snelheid standaard wordt uitgedrukt in "meter per seconde" (m/s). Toch wordt in de praktijk meestal gebruik gemaakt van de eenheid "kilometer per uur" (km/uur). De reden hiervoor is simpel. We zijn gewend geraakt aan deze eenheid van snelheid en snelheden in km/uur kunnen we goed inschatten. Het is dan ook niet erg moeilijk om snelheden in km/uur om te rekenen in snelheden in m/s of andersom. Zie voorbeeld 2.2.

Voorbeeld 2.2
Om snelheden om te rekenen van km/uur naar m/s moet er gebruik worden gemaakt van het gegeven dat 1 km bestaat uit 1.000 m en dat 1 uur bestaat uit 3.600 s (60 minuten met ieder 60 seconden). Voor een snelheid van 100 km/uur geldt dan bijvoorbeeld:

$$v = 100\ \frac{\text{km}}{\text{uur}} = 100.000\ \frac{\text{m}}{\text{uur}} = \frac{100.000}{3.600}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 27{,}8\ \text{m/s}$$

Een snelheid van, bijvoorbeeld, 10 m/s kan ook eenvoudig worden omgerekend naar km/uur:

$$v = 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \cdot 3.600\ \frac{\text{m}}{\text{uur}} = 36.000\ \frac{\text{m}}{\text{uur}} = 36\ \text{km/uur}$$

Als je de uitkomsten van voorbeeld 2.2 goed bekijkt, zie je dat er een bepaalde logica zit in het omrekenen van km/uur naar m/s of andersom. Als je wilt omrekenen van km/uur naar m/s deel je de snelheid door 3,6. Wil je omrekenen van m/s naar km/uur dan vermenigvuldig je met 3,6. Zie figuur 2.5.

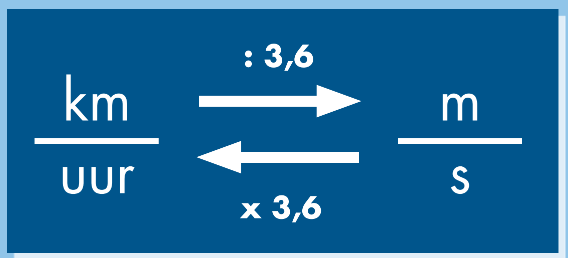


Fig. 2.5 Omrekenen van snelheid

In voorbeeld 2.3 gaan we aan de slag met de formule voor de snelheid. In deze formule zijn namelijk drie grootheden te vinden: snelheid, afgelegde afstand en tijd. Als we twee van deze grootheden kennen, kunnen we de derde berekenen.

Voorbeeld 2.3
Als je vanaf de parkeerplaats bij Walibi Holland naar de ingang loopt, leg je een afstand af van 800 m. Als je weet dat je hier 8 minuten (dit is 480 s) over doet, kun je de snelheid berekenen:

$$v = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \frac{800}{480}\quad 1{,}67\ \text{m/s} = 6{,}0\ \text{km/uur}$$

Het treintje van Robin Hood wordt met een snelheid van 15 km/uur (dit is 4,17 m/s) de eerste helling op getrokken. De lengte van deze helling is 70 m. Je kunt dan berekenen hoe lang het optrekken duurt:

$$v = \frac{s}{\Delta t}$$

$$4{,}17 = \frac{70}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{70}{4{,}17} = 16{,}8\ \text{s}$$

Stel je wilt berekenen wat de lengte is van de helling van Goliath, waarover het treintje omhoog wordt getrokken. Het is je bekend dat het optrekken 12 s duurt en gebeurt met een snelheid van 28 km/uur (dit is 7,78 m/s). De lengte van de helling moet dan zijn:

$$v = \frac{s}{\Delta t}$$

$$7{,}78 = \frac{s}{12} \rightarrow s = 12 \cdot 7{,}78 = 93\ \text{m}$$

En toch zijn we nog steeds niet helemaal tevreden. We zijn er, zonder dat je dat echt in de gaten had, steeds vanuit gegaan dat de snelheid steeds hetzelfde bleef. In de praktijk is dit meestal niet het geval. Als je bijvoorbeeld in een achtbaan zit, neemt soms je snelheid sterk toe (je versnelt) en op een ander moment neemt je snelheid weer sterk af (je vertraagt). Als de snelheid in de loop van de tijd niet steeds hetzelfde blijft, hebben we het daarom ook liever niet over dé snelheid. We spreken dan liever over de **gemiddelde snelheid**. Eigenlijk gaan we er bij het gebruik van de gemiddelde snelheid vanuit dat de snelheid toch (in gedachten) gelijk is gebleven.

De formule voor de gemiddelde snelheid is dan ook nagenoeg gelijk aan de formule voor de snelheid:

$$v_{gem} = \frac{s}{\Delta t}$$

In deze formule staat v_{gem} voor de gemiddelde snelheid (in m/s), s weer voor de afgelegde afstand (in m) en Δt voor de tijd (in s).

VRAGEN

5. In Xpress word je in een hele korte tijd versneld naar een aanzienlijke snelheid. In de loop van de baan, die een lengte heeft van 996 m, zal het treintje van Xpress echter niet voortdurend deze grote snelheid hebben. Een rit in Xpress duurt 1 minuut en 40 seconden.
   Bereken de gemiddelde snelheid van Xpress.

6. In El Condor leg je een baan af met een lengte van 662 m. De gemiddelde snelheid van El Condor is slechts 19,5 km/uur.
   Bereken hoe lang een rit in El Condor duurt.

7. Om even tot rust te komen, kun je in Walibi Holland een ritje maken in de oldtimers. Deze attractie heet Le Tour de Jardin (de rit door de tuin). In deze opgave gaan we de lengte van de baan bepalen.
   a. Meet de tijd die een oldtimer nodig heeft om een volledige rit langs de baan te maken.
   b. Schat de snelheid die de oldtimers hebben.
   c. Bereken de lengte van de baan in Le Tour de Jardin.

8. Ben je in Walibi Holland en wil je echt eens lekker nat worden? Stap dan in Splash Battle! Een wagentje leidt je hierin tergend langzaam langs een baan. Op deze manier hebben de omstanders genoeg tijd je kletsnat te spuiten.
   a. Meet hoe lang een rit in Splash Battle duurt.
   b. Maak een schatting van de lengte van de baan.
   c. Bereken de gemiddelde snelheid van Splash Battle.

2.3 BEWEGING IN GRAFIEKEN

Omdat beweging overal en altijd aanwezig is, vinden natuurkundigen het belangrijk om zo exact mogelijk te weten hoe een beweging precies verloopt. Dit is ook de reden dat men probeert om bewegingen te beschrijven via grafieken. In deze grafieken staan vaak de plaats x van een bewegend voorwerp uitgezet tegen de tijd t. De grafiek die dan ontstaat, noemt men een (x,t)-diagram. In voorbeeld 2.4 wordt het gebruik van een (x,t)-diagram nader toegelicht.

Voorbeeld 2.4

Een wandelaar loopt gedurende 15 s over een afstand van 80 m. Vervolgens staat de wandelaar 5 s stil. Tot slot loopt de wandelaar 30 m achteruit gedurende 10 s.
Deze beweging is te beschrijven met behulp van het (x,t)-diagram zoals weergegeven in figuur 2.7.

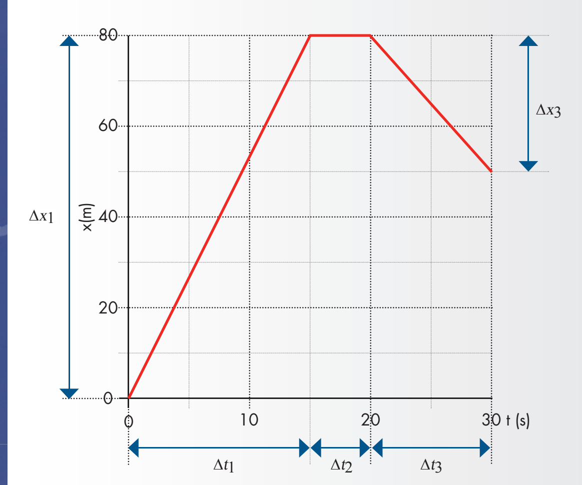


Fig. 2.7: Het (x,t)-diagram van een wandelaar.

De hele beweging bestaat uit drie delen. In het eerste deel loopt de wandelaar vooruit. Voor dit deel geldt:
Δt_1 = 15 s (het tijdsinterval is 15 s)
Δx_1 = 80 m (de verplaatsing is 80 m)

De snelheid in het eerste deel van de beweging kan dan berekend worden:

$$v_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} = \frac{80}{15} = 5{,}3 \text{ m/s}$$

Voor het tweede deel van de beweging geldt:
Δt_2 = 5 s
Δx_2 = 0 m
v_2 = 0 m/s (de wandelaar staat immers stil)

Ook het derde deel van de beweging kan bekeken worden. Hier moet er wel op worden gelet dat de wandelaar achteruit loopt. Dit levert op:

Δt_3 = 10 s
$\Delta x_3 = x_{eind} - x_{begin}$ = 50 – 80 = -30 m (hij loopt achteruit)

$$v_3 = \frac{\Delta x_3}{\Delta t_3} = \frac{-30}{10} = -3{,}0 \text{ m/s}$$

In het laatste gedeelte van de beweging is de snelheid negatief omdat hij daar dus achteruit loopt. We waren er (zonder dat je dat zelf door had) vanuit gegaan dat een snelheid naar voren positief is en dus is een snelheid naar achteren negatief.

In het (x,t)-diagram van voorbeeld 2.4 was de beweging duidelijk te splitsen in drie delen. In werkelijkheid is dit natuurlijk niet het geval. Bewegingen verlopen veel geleidelijker. Hierdoor zullen ook de (x,t)-diagrammen van deze bewegingen een veel geleidelijker verloop te zien geven.

Twee bijzondere gevallen worden hier besproken, de versnelde beweging en de vertraagde beweging. Als een beweging versnelt, zal de snelheid in de loop van de tijd steeds groter worden. In een (x,t)-diagram is dit te zien aan het steeds steiler worden van de grafieklijn. Een beweging die vertraagd is, begint vanuit een bepaalde snelheid. Deze snelheid wordt in de loop van de tijd steeds kleiner. In een (x,t)-diagram is dit te zien aan het steeds minder steil worden van de grafieklijn. In figuur 2.8 staat een voorbeeld van een versnelde beweging en in figuur 2.9 een voorbeeld van een vertraagde beweging.

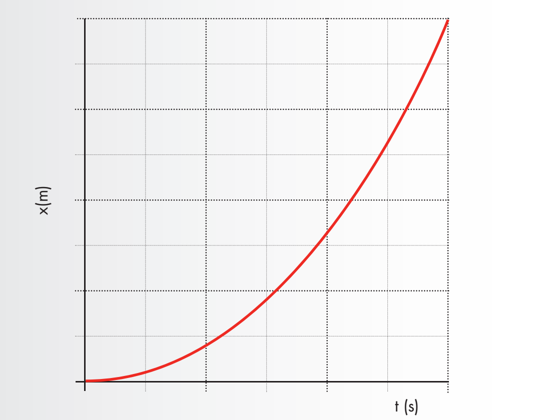


Fig. 2.8: Het (x,t)-diagram van een versnelde beweging.

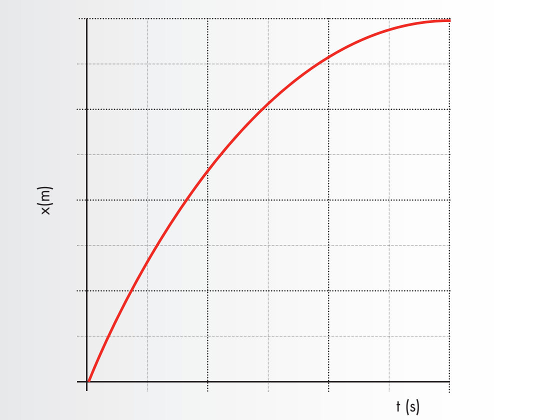


Fig. 2.9: Het (x,t)-diagram van een vertraagde beweging.

In de opgaven komen een aantal (x,t)-diagrammen aan de orde.

VRAGEN

9. Voer het volgende practicum uit, waarin je op een heel eenvoudige manier een beweging vastlegt. Je laat een balletje rollen langs een schuine baan. Je bepaalt de plaats (verplaatsing) met een meetlint en de tijd met een stopwatch. Het uiteindelijke resultaat moet een grafiek zijn waarin de plaats x staat uitgezet tegen de tijd t, een (x,t)-diagram.

10. Een auto voert gedurende twee minuten een beweging uit. Het (x,t)-diagram van deze beweging is weergegeven in figuur 2.10. Bestudeer de grafiek en beantwoord vervolgens de vragen en opgaven.

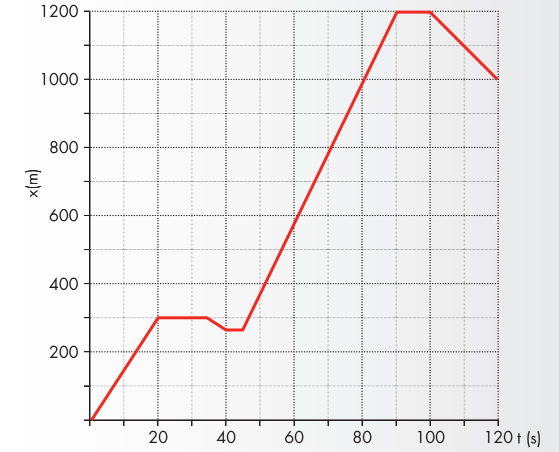


Fig. 2.10: (x,t)-diagram bij opgave 10.

- **a.** Op welke plaats bevindt de auto zich nadat deze 60 s gereden heeft?
- **b.** Op welk tijdstip heeft de auto 1 km gereden?
- **c.** Tussen welke tijdstippen rijdt de auto vooruit?
- **d.** Tussen welke tijdstippen staat de auto stil?
- **e.** Tussen welke tijdstippen rijdt de auto achteruit?
- **f.** Bepaal de afgelegde weg van de auto in de 2 minuten dat deze gereden heeft.
- **g.** Bepaal de verplaatsing van de auto nadat deze 2 minuten gereden heeft.
- **h.** Bepaal de snelheid van de auto in het tijdsinterval van t = 0 s tot t = 20 s.
- **i.** Leg uit of de auto in het tijdsinterval van t = 45 s tot t = 90 s harder of zachter rijdt dan in het tijdsinterval van t = 0 s tot t = 20 s.
- **j.** Bereken de snelheid van de auto in het tijdsinterval van t = 100 s tot t = 120 s.

11. Jos neemt plaats in Tequila's Taxi's, de botsautobaan in Walibi Holland. Een deel van zijn beweging wordt vastgelegd en uitgezet in een (x,t)-diagram. Dit heeft het diagram tot gevolg dat staat weergegeven in figuur 2.11. Bestudeer de grafiek en beantwoord vervolgens de vragen en opgaven.

- **a.** Tussen welke tijdstippen rijdt de auto vooruit?
- **b.** Tussen welke tijdstippen staat de auto stil?
- **c.** Tussen welke tijdstippen rijdt de auto achteruit?
- **d.** Bepaal de afgelegde weg van de auto in de 25 seconden dat deze gereden heeft.
- **e.** Bepaal de verplaatsing van de auto nadat deze 25 seconde bewogen heeft.
- **f.** Bepaal de snelheid van de auto in het tijdsinterval van t = 0 s tot t = 8 s.

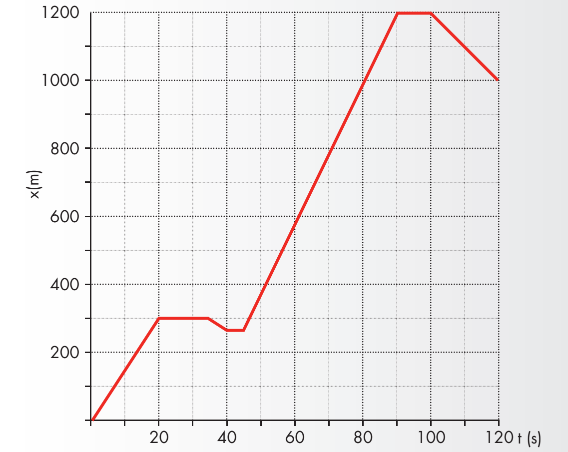


Fig. 2.11: (x,t)-diagram bij opgave 11.

- **g.** Leg uit hoe aan de grafiek te zien is dat de auto in het tijdsinterval van t = 0 s tot t = 8 s dezelfde snelheid heeft als in het tijdsinterval van t = 13 s tot t = 21 s.
- **h.** Bereken de snelheid van de auto in het tijdsinterval van t = 8 s tot t = 11 s.
- **i.** Bereken de snelheid van de auto in het tijdsinterval van t = 21 s tot t = 25 s.

12. In de achtbaan Goliath wordt een treintje eerst omhoog getakeld tot op een hoogte van 46,8 m. Vanaf dit hoogste punt beweegt het treintje weer naar beneden. De beweging van het treintje naar beneden is weergegeven in figuur 2.12.

a. Bereken de gemiddelde snelheid van het treintje tijdens de volledige 3 s dat dit langs de helling naar beneden beweegt.

b. Bereken de gemiddelde snelheid van het treintje in de eerste halve seconde van de beweging.

c. Bereken de gemiddelde snelheid van het treintje in de laatste halve seconde van de beweging.

d. Leg uit waarom er hier sprake is van een versnelde beweging.

e. Leg uit hoe aan de grafiek te zien is dat er hier sprake is van een versnelde beweging.

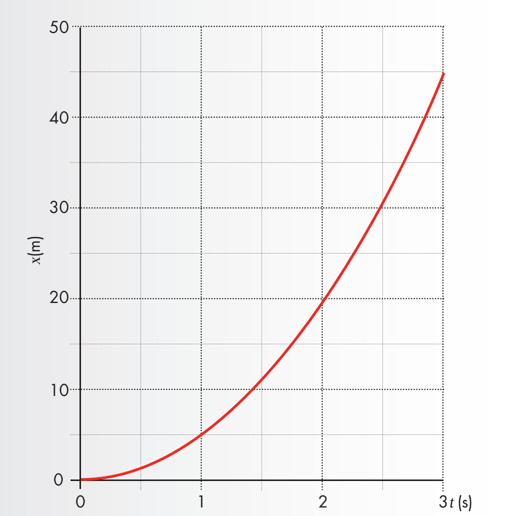


Fig. 2.12: Het (x,t)-diagram bij opgave 12.

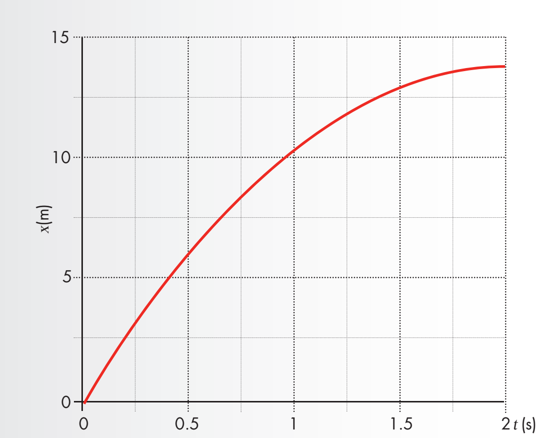


Fig. 2.13: Het (x,t)-diagram bij opgave 13.

13. Als de achtbaan Xpress een volledige rit heeft uitgevoerd is het de bedoeling dat het achtbaantreintje weer tot stilstand wordt gebracht. Er moet geremd worden. Op het einde van de rit is de snelheid van het treintje niet heel erg groot meer, ongeveer 50 km/uur. Deze snelheid wordt in 2 s terug gebracht tot stilstand. De beweging van het treintje naar beneden is weergegeven in figuur 2.13.

a. Bereken de gemiddelde snelheid van het treintje tijdens de volledige 2 s dat dit wordt afgeremd.

b. Bereken de gemiddelde snelheid van het treintje in de eerste halve seconde van de beweging.

c. Bereken de gemiddelde snelheid van het treintje in de laatste halve seconde van de beweging.

d. Leg uit waarom er hier sprake is van een vertraagde beweging.

e. Leg uit hoe aan de grafiek te zien is dat er hier sprake is van een vertraagde beweging.

2.4 EENPARIGE BEWEGING

In de vorige paragraaf zijn bewegingen bekeken die in de loop van de tijd voortdurend veranderden. Snelheden namen toe en snelheden namen af, maar er waren ook momenten dat voorwerpen stil stonden en dus helemaal niet in beweging waren. In deze paragraaf gaan we de situatie eigenlijk wat eenvoudiger maken. We gaan bewegende voorwerpen bekijken die een constante snelheid hebben. Deze voorwerpen voeren een beweging uit die een eenparige beweging genoemd wordt.

Als een voorwerp beweegt met een bepaalde snelheid betekent dit eigenlijk niks meer dan dat het voorwerp iedere seconde dat het beweegt dezelfde afstand aflegt. De plaats van het voorwerp verandert daarbij voortdurend.

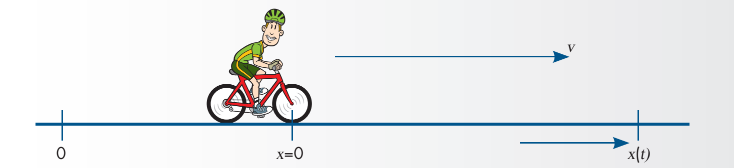


Fig. 2.14: Een fietser beweegt langs een lijn.

We lichten het één en ander toe aan de hand van figuur 2.14. Hierin is een fietser getekend die beweegt met een constante snelheid v. Op de lijn waar de fietser (denkbeeldig) langs fietst, kunnen de plaatsen van de fietser worden aangegeven. Vanuit één plaats worden alle andere plaatsen en afstanden gemeten. Deze plaats wordt de oorsprong (of '0') genoemd.

De plaatsen waar de fietser zich kan bevinden worden aangeduid met het symbool x (en uitgedrukt in de eenheid m). Twee bijzondere plaatsen zijn in figuur 2.14 aangegeven. Eerst is daar plaats $x(t)$. Dit is de plaats x op tijdstip t. Staat er bijvoorbeeld $x(2)$, dan betekent dit de plaats x op tijdstip $t = 2$ s. Staat er bijvoorbeeld $x(8{,}5) = 3$ m, dan betekent dit dat op tijdstip $t = 8{,}5$ s de plaats 3 m bedraagt. Een bijzondere plaats wordt aangegeven met $x(0)$. Dit is de plaats op tijdstip $t = 0$ s, met andere woorden de beginpositie van het bewegende voorwerp.

In een eenparige beweging bestaat er een verband tussen de plaats, de tijd en de snelheid. Dit verband luidt:

$$x(t) = v \cdot t + x(0)$$

In deze formule staat $x(t)$ voor de plaats (op tijdstip t, in m), v voor de snelheid (in m/s), t voor de tijd (in s) en $x(0)$ voor de plaats op tijdstip $t = 0$ s (de beginpositie, in m). In voorbeeld 2.5 wordt het gebruik van deze formule verder toegelicht.

Voorbeeld 2.5

Een fietser rijdt met een constante snelheid van 20 km/uur (reken na dat dit hetzelfde is 5,56 m/s). De beweging van de fietser wordt gevolgd vanaf het moment dat deze 10 m van de oorsprong is.

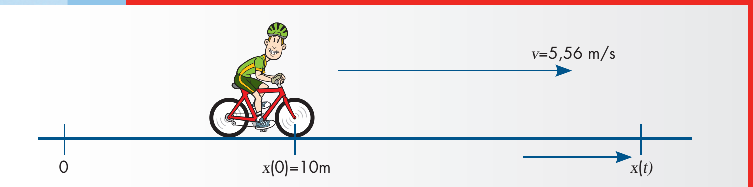


Fig. 2.15: Een fietser rijdt met een constante snelheid van 20 km/uur.

In figuur 2.15 is de situatie getekend. De oorsprong ('0'), de beginpositie $x(0)$ en de snelheid v zijn aangegeven. Voor de beweging kan een formule worden opgesteld. Dit kan door de algemene formule voor een eenparige beweging in te vullen met de gegevens:

$x(t)=v \cdot t+x(0)$
$x(t)=5{,}56 \cdot t+10$

Vervolgens kunnen allerlei zaken van deze beweging berekend worden. Als de fietser 4 s gefietst heeft, is de plaats van fietser:
$x(4)=5{,}56 \cdot 4+10 = 32{,}2$ m

De afstand die de fietser heeft afgelegd, kan ook berekend worden. Bedenk hierbij dat de fietser zijn beweging niet begonnen is in de oorsprong, maar 10 m verderop:
$s(4)=32{,}2-10 = 22{,}2$ m

Stel, je wilt weten hoe lang de fietser er over doet om op plaats $x(t)=500$ m te komen. De formule kan je daarbij helpen:
$x(4)=500 = 5{,}56 \cdot t +10$

De vergelijking die we nu krijgen kan worden opgelost. Dit doen we door eerst de '10' naar de linker kant van het =-teken te brengen:
$490 = 5{,}56 \cdot t$

Om de tijd te kunnen berekenen moet de '5,56' ook naar de linker kant van het =-teken gebracht worden. Dit levert op:
$t = \dfrac{490}{5{,}56} = 88$ s

Je ziet dat het mogelijk is een heleboel informatie over deze beweging te verschaffen door op de juiste manier met de formule om te gaan.

Het aardige van de formule voor een eenparige beweging is dat het ook mogelijk wordt om meerdere bewegende voorwerpen samen te bekijken. De methode die je dan gebruikt is eigenlijk altijd hetzelfde. Je stelt de formules (plaatsfuncties) op van de bewegende voorwerpen. Vervolgens ga je met deze formules aan de slag. Je kunt dan situaties uitrekenen waarbij twee bewegende voorwerpen elkaar gaan passeren. Een dergelijke situatie staat uitgewerkt in voorbeeld 2.6.

Voorbeeld 2.6

Achmed en Bas rijden op hun fiets over een rechte weg. Achmed heeft een snelheid van 19 km/uur en Bas een snelheid van 15 km/uur. Bas rijdt 450 m voor Achmed.
We willen graag weten hoe lang het duurt voordat Achmed, Bas heeft ingehaald. Om de situatie goed in te kunnen schatten, is het belangrijk om eerst een situatieschets te maken. Deze staat in figuur 2.16.

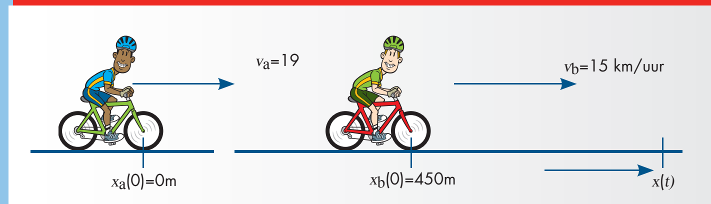


Fig. 2.16: Achmed haalt Bas in.

In de formule die we straks gaan gebruiken, moeten alle grootheden worden uitgedrukt in de standaardeenheid. Voor de snelheden is dat nog niet het geval, dus die rekenen we eerst om:
v_a = 19 km/uur = 5,28 m/s
v_b = 15 km/uur = 4,17 m/s

In het figuur is ervoor gekozen om de beginpositie van Achmed ($x_a(0)$) te kiezen als 0 m. De beginpositie van Bas ($x_b(0)$) is dan gelijk aan 450 m (Bas heeft immers een voorsprong van 450 m op Achmed). De formules voor de beweging van beide fietsers kan nu worden opgesteld. Voor Achmed geldt:
$x_a(t) = v_a \cdot t + x_a(0)$
$x_a(t) = 5{,}28 \cdot t$

De formule voor de beweging van Bas luidt:
$x_b(t) = v_b \cdot t + x_b(0)$
$x_b(t) = 4{,}17 \cdot t + 450$

Nu wordt het tijd om ons af te vragen wat er nou eigenlijk precies aan de hand is op het moment dat de twee fietsers elkaar passeren. Eigenlijk is dat heel eenvoudig. De plaats van Achmed $x_a(t)$ is op dat moment hetzelfde als de plaats van Bas $x_b(t)$. In formulevorm kan dit wordt opgeschreven als:

$x_a(t) = x_b(t)$

De formules voor de beweging van Achmed en Bas zijn bekend en kunnen dus worden ingevuld in bovenstaande uitdrukking:

$x_a(t) = x_b(t)$

De ontstane vergelijking kan worden opgelost door eerst de factor $4{,}17 \cdot t$ die aan de rechterkant van het =-teken staat naar de linkerkant te brengen. Dit leidt tot:

$5{,}28 \cdot t - 4{,}17 \cdot t = 450$

$1{,}11 \cdot t = 450$

De tijd kan dan berekend worden door de factor 1,11 die voor de tijd t staat naar de rechterkant van het =-teken te brengen. Dit levert op:

$t = \frac{450}{1{,}11} = 405$ s

Achmed heeft dus ongeveer 405 s nodig om Bas in te halen. Nu we dat weten, is het niet veel extra werk om te berekenen welke afstand Achmed heeft afgelegd, voordat hij Bas passeert:

$s_a(t) = 5{,}28 \cdot t$

$s_a(t) = 5{,}28 \cdot 405 = 2138$ m (=2,138 km)

Ook de afstand die Bas op dat moment heeft afgelegd, is dan bekend:

$s_b(t) = 4{,}17 \cdot t$

$s_b(t) = 4{,}17 \cdot 405 = 1688$ m (=1,688 km)

Achmed heeft dus 450 m meer afgelegd dan Bas en dat is ook logisch. Oorspronkelijk had Bas ook een voorsprong van 450 m op Achmed.

In voorbeeld 2.6 reden de fietsers in dezelfde richting. Je hebt kunnen zien dat de snelheden die de fietsers dan hebben in de berekeningen positief worden genomen. In de opgaven komen ook situaties aan bod waarin twee voorwerpen naar elkaar toe bewegen. De richtingen van de snelheden zijn dan niet hetzelfde. In de praktijk wordt dan één van beide snelheden negatief gekozen.

VRAGEN

Bij de opgaven 14 t/m 17 is het belangrijk te werken volgens het stappenplan, zoals weergegeven in figuur 2.17.

Stappenplan natuurkunde-opgaven

1. Lees de opgave door en onderstreep/markeer de gegevens.
2. Maak een tekening van de gegeven situatie.
3. Schrijf op wat de gegevens zijn (eventueel in de tekening)
4. Reken alle gegevens om naar de standaardeenheid (tijd in s, afstanden in m en snelheden in m/s).
5. Schrijf op wat er in de opgave gevraagd wordt.
6. Schrijf de formules op die je nodig hebt.
7. Vul de formules in met de gegevens uit de opgave.
8. Reken uit wat er gevraagd wordt.
9. Controleer of je uitkomst zou kunnen kloppen en let erop dat er een eenheid achter staat.

Fig. 2.17: Stappenplan natuurkunde-opgaven.

14. Twee auto's A en B rijden over een rechte weg. Auto A heeft een snelheid van 50 km/uur en auto B heeft een snelheid van 55 km/uur. Auto A rijdt 0,65 km voor auto B.
   - **a.** Bereken het tijdstip waarop auto B auto A in zal halen.
   - **b.** Bereken de afstanden die beide auto's hebben afgelegd op het moment van inhalen.

15. Twee fietsers A en B rijden over een rechte weg. Fietser A heeft een snelheid van 20 km/uur en fietser B heeft een snelheid van 24 km/uur. De fietsers rijden naar elkaar toe. Op een gegeven ogenblik bedraagt de afstand tussen beide fietsers 750 m.
   - **a.** Bereken het tijdstip waarop de fietsers elkaar zullen passeren.
   - **b.** Bereken de afstanden die beide fietsers hebben afgelegd op het moment van passeren.

16. Piet en Tom zijn op weg naar Goliath. Tom loopt een eindje voor Piet, en wel 380 m. Tom wandelt stevig door met een snelheid van 6 km/uur. Piet wil Tom inhalen en zet het daarom op een rennen. Hij rent met een snelheid van 14 km/uur.
   - **a.** Bereken hoe lang het duurt voordat Piet Tom heeft ingehaald.
   - **b.** Bereken de afstanden die Piet en Tom hebben afgelegd op het moment dat Piet Tom passeert.

17. Dennis en Ingrid zijn hopeloos verliefd op elkaar. Als grap willen ze een eindje uit elkaar gaan staan, naar elkaar toe rennen en elkaar in de armen vliegen (net als in de film). De afstand tussen beiden is in het begin 220 m. Dennis rent met een snelheid van 12 km/uur en Ingrid met een snelheid van 9,5 km/uur.
   - **a.** Bereken hoe lang het duurt voordat Dennis en Ingrid elkaar in de armen kunnen vliegen.
   - **b.** Bereken welke afstand ze ieder hebben gelopen op dat moment.

VERSNELLEN EN VERTRAGEN

Tot nu toe hebben we het vooral gehad over bewegingen met constante snelheid (eenparige bewegingen). Alleen in paragraaf 2.3 kwamen heel even grafieken langs die een beweging beschrijven die versneld of vertraagd is. De (x,t)-diagrammen voor een versnelde beweging en een vertraagde beweging staan nog een keer weergegeven in de figuren 2.18 en 2.19.

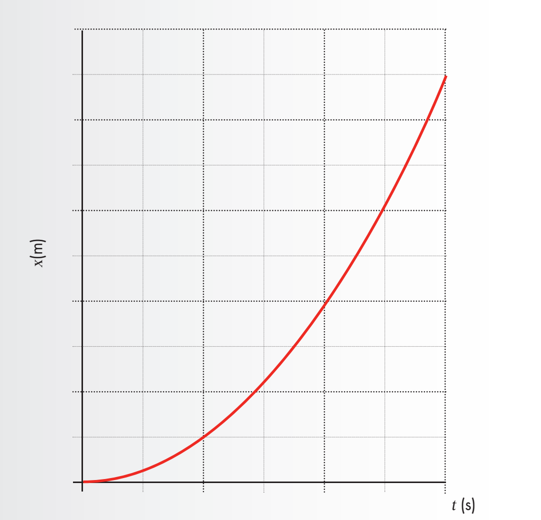


Fig. 2.18: (x,t)-diagram van een versnelde beweging.

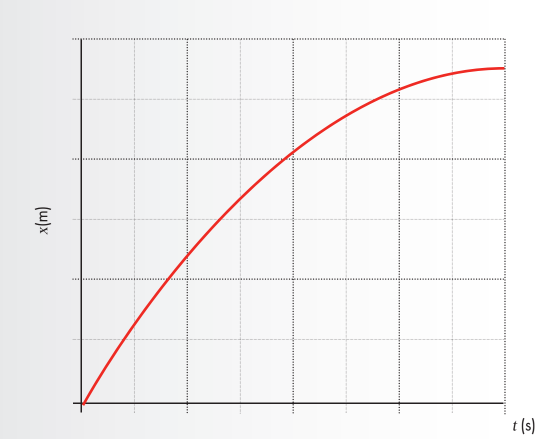


Fig. 2.19: (x,t)-diagram van een vertraagde beweging.

In figuur 2.18 is te zien dat de afstand die per seconde wordt afgelegd in de loop van de tijd steeds groter wordt. Het gaat dan dus om een versnelde beweging. De snelheid neemt in de loop van de tijd immers voortdurend toe. In figuur 2.19 is te zien dat de afstand die per seconde wordt afgelegd juist steeds kleiner wordt. Hier gaat het om een vertraagde beweging. De snelheid neemt in de loop van de tijd af.
In de natuurkunde proberen we altijd om verschijnselen zo exact mogelijk te beschrijven. Hiertoe bestuderen we deze verschijnselen heel nauwkeurig. Vervolgens proberen we tot conclusies en kennis te komen. Deze methode is natuurlijk ook gebruikt bij onderzoek aan versnelde en vertraagde bewegingen. Zo is men gekomen tot de definitie van het begrip **versnelling**.

De versnelling is vastgelegd als de toename van de snelheid in één seconde. Hierbij is wel afgesproken dat de snelheid moet worden uitgedrukt in m/s. Voor de versnelling wordt het symbool a gebruikt (van de Engelse term voor versnelling, 'acceleration'). Voor het snelheidsverschil gaan we het symbool Δv gebruiken. Het symbool 'Δ' hebben we ook al gebruikt in paragraag 2.2. De afspraak was dat we dit symbool gebruiken als er sprake is van een verschil. Dat is hier ook het geval want het gaat om een toename van de snelheid. Voor het tijdsinterval gebruiken we, net als in paragraf 2.2, het symbool Δt.
Als we nog een keer bekijken hoe nou precies is afgesproken hoe de versnelling vast te leggen, komen we tot een formule. De versnelling was de toename van de snelheid in één seconde. De formule voor de versnelling wordt dan: $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

In deze formule staat Δv voor de toename van de snelheid (in m/s), Δt voor het tijdsinterval waarin deze snelheidstoename plaats vindt (in s) en a staat voor de versnelling. Deze versnelling heeft natuurlijk ook een eenheid. Deze eenheid luidt "meter per seconde per seconde". Het gaat namelijk om een vergroting van de snelheid in een seconde. De eenheid "meter per seconde (m/s) per seconde (s)" wordt alleen in de praktijk afgekort tot m/s^2 (spreekt uit als "meter per seconde kwadraat").

Als je goed hebt opgelet, heb je gemerkt dat we het tot nu toe steeds hebben gehad over een toename van de snelheid. Het ging dus steeds om versnelde bewegingen. Maar wat nu als er geen sprake is van een versnelling maar van een vertraging? Dat lossen natuurkundigen eigenlijk heel simpel op. Zij kennen namelijk het begrip vertraging niet. Als er sprake is van een vertraagde beweging wordt er gewoon de versnelling berekend. Voor deze versnelling wordt alleen een min-teken gezet. Als in de natuurkunde namelijk een snelheidsverschil berekend wordt, is het altijd de bedoeling de eindsnelheid min de beginsnelheid uit te rekenen. De formule voor de versnelling moet dan wat uitgebreid worden:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{eind} - v_{begin}}{\Delta t}$$

In voorbeeld 1.7 komt de versnelling nog eens aan de orde

Voorbeeld 2.7
Stel een achtbaan versneld vanuit stilstand tot een 85 km/uur. Dit gebeurt in 1,5 s. De versnelling kan dan berekend worden. Hiertoe moet eerst de snelheid worden omgerekend naar m/s: v_{eind} = 85 km/uur = 23,6 m/s

De versnelling kan dan berekend worden door de gegevens in te vullen in de formule:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{eind} - v_{begin}}{\Delta t}$$

$$a = \frac{23{,}6 - 0}{1{,}5} = 15{,}7 \text{ m/s}^2$$

Als dezelfde achtbaan op het einde van de rit remt, kan ook weer de versnelling (vertraging) berekend worden. Als we er van uit gaan dat de achtbaan aan komt rijden met 35 km/uur en binnen 2,5 s stilstaat, is de versnelling:

v_{begin} = 35 km/uur = 9,7 m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{eind} - v_{begin}}{\Delta t}$$

$$a = \frac{0 - 9{,}7}{2{,}5} = -3{,}9 \text{ m/s}^2$$

VRAGEN

18. In figuur 2.20 staat het eerste gedeelte van de baan van Goliath weergegeven. Als het treintje de eerste top (punt I) bereikt heeft en zich naar beneden stort, ervaar je een enorme versnelling. Boven op de top is de snelheid 20 km/uur. De beweging van I naar II duurt 1,8 s. Beneden aangekomen in punt II is de snelheid toegenomen tot 108 km/uur.

Fig. 2.20 De 2 eerste toppen van Goliath.

a. Bereken de versnelling van het treintje als dit beweegt van punt I naar punt II.

Na punt II gaat het treintje weer omhoog naar punt III. De snelheid in dit punt is slechts 16 km/uur. Het treintje heeft ook 1,8 s nodig om van punt II naar punt III te komen.

b. Bereken de versnelling van het treintje als dit beweegt van punt II naar punt III.

19. In deze opgave gaan we schattingen en metingen doen aan Xpress. In Xpress word je in het begin van de rit afgeschoten. Hierdoor ervaar je een enorme versnelling. Na het afschieten heb je een snelheid van 94 km/uur bereikt.

a. Maak een ritje in Xpress en schat hoe lang het afschieten duurt.

b. Bereken de versnelling tijdens het afschieten van Xpress.

Tegen het einde van de rit wordt het treintje vrij plotseling weer tot stilstand gebracht. Dit remmen duurt zo'n 1,3 s.

c. Bereken de versnelling tijdens het remmen.

20. In deze opgave gaan we een aantal schattingen en berekeningen doen aan Space Shot. In Space Shot word je recht naar boven gelanceerd. Deze lancering duurt 0,65 s. Hierbij krijg je een snelheid van 83 km/uur.

a. Bereken de versnelling van Space Shot tijdens de lancering.

b. Schat hoe lang het duurt voor Space Shot om te bewegen van het laagste punt (het punt van lancering) tot het hoogste punt.

c. Bereken de gemiddelde versnelling van Space Shot als deze beweegt van het laagste naar het hoogste punt.

21. Een auto staat bij het stoplicht. Het stoplicht springt op groen en de auto rijdt weg met een versnelling van 2,4 m/s^2.

a. Bereken de snelheid die de auto heeft nadat deze 3,3 s versneld

b. Bereken hoe lang het duurt voordat de auto een snelheid heeft van 50 km/uur.

De auto rijdt een tijdje met een constante snelheid van 50 km/uur door. Op een gegeven ogenblik komt het volgende stoplicht in zicht. De auto remt met een versnelling (vertraging) van –4,1 m/s^2.

c. Bereken hoe lang het duurt voordat de auto stil staat.

In deel 2 heb je al een heleboel kunnen lezen over hoe natuurkundigen omgaan met bewegingen. Je hebt kunnen zien dat bewegingen eerst heel nauwkeurig onderzocht worden. Men probeert daarna te komen tot allerlei afspraken en formules om de beweging mee te beschrijven. Grootheden als tijd, plaats, verplaatsing, snelheid en versnelling heb je langs zien komen. Als je deel 2 nog eens doorbladert, zul je zien dat er eigenlijk maar drie soorten beweging aan de orde komen. Dit zijn de beweging met een constante snelheid (de eenparige beweging), de versnelde beweging en de vertraagde beweging. In dit deel gaan we wat verder in op drie bijzondere bewegingen. We starten met de beweging die een vallend voorwerp ondergaat. Daarna zul je misschien wat draaierig worden als we het over de cirkelbeweging hebben. Tot slot komen nog bewegingen aan bod die zichzelf steeds herhalen: trillingen.

3.1 VRIJE VAL

In deel 2.5 hebben we het gehad over versnellen en vertragen. Als er sprake was van een versnelde beweging nam de snelheid in de loop van de tijd voortdurend toe. Een **vrije val** is eigenlijk niets meer dan een bijzondere versnelde beweging.

Een voorwerp dat valt, wordt naar beneden getrokken door de aantrekking van de aarde op dat voorwerp. In figuur 3.1 is een foto weergegeven van een vallende bal. De foto is een zogenaamde **stroboscopische foto**. De bal is op een aantal verschillende momenten gefotografeerd. De tijd die verloopt tussen twee opnamen van de bal is steeds hetzelfde. Je kunt op de foto zien dat de afstand die de bal tussen twee posities aflegt steeds groter wordt, naarmate de bal lager komt. Hieruit kan al snel de conclusie worden getrokken dat de bal aan het versnellen is. Let er in figuur 3.1 wel op dat op ieder moment dus dezelfde bal zichtbaar is.

Fig. 3.1 Een vallende bal.

Verder onderzoek aan vallende voorwerpen heeft uitgewezen dat ieder voorwerp op dezelfde manier valt. Eigenlijk is dat best vreemd. Een heel erg licht voorwerp (bijvoorbeeld een veertje) valt blijkbaar even snel als een veel zwaarder voorwerp (bijvoorbeeld een loden kogel). Ja maar, zul je denken, dat klopt niet. Laat je immers een veertje en een loden kogel vallen, dan zul je zien dat de kogel snel beneden is en dat het veertje langzaam naar beneden dwarrelt. In de praktijk klopt dit natuurlijk ook. Natuurkundigen willen echter steeds zo exact mogelijk verschijnselen beschrijven (in dit geval dus een vrije val). Om dit mogelijk te maken, zullen allerlei invloeden die een vrije val kunnen beïnvloeden, buiten de invloed van de zwaartekracht, moeten worden weggenomen. Een grote invloed op een vallend voorwerp is de **wrijving** van het voorwerp met de lucht waar het doorheen valt. Natuurkundigen hebben daarom voorwerpen laten vallen in een luchtledige ruimte (vacuüm). En wat bleek? Alle voorwerpen vielen even snel, ook het veertje en de loden kogel. Op school kunnen ze je dit wereldberoemde proefje laten zien. Alle voorwerpen vallen (in het luchtledige) dus even snel.

Maar nog steeds is een natuurkundige dan niet tevreden. Als je weet dat ieder voorwerp even snel valt, hoe snel vallen deze voorwerpen dan precies? Ook dat is onderzocht en al snel bleek dat de versnelling die optreedt bij een vrije val altijd dezelfde is. Deze bijzondere versnelling heeft men daarom de **valversnelling** genoemd. De waarde van de valversnelling is 9,8 m/s². Omdat de valversnelling een bijzondere versnelling is, heeft dit ook een ander symbool gekregen dan de normale versnelling. De normale versnelling had als symbool a (van "acceleration", de Engelse term voor versnelling). Voor de valversnelling gebruikt men het symbool g (van "gravitatie", een ander woord voor de aantrekkingskracht van de aarde).

De formule uit paragraaf 2.5, die gold voor de versnelling, geldt dus ook voor de valversnelling. Het symbool voor de versnelling wordt hierin alleen aangepast. De formule voor de valversnelling luidt dan:

$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{eind} - v_{begin}}{\Delta t}$$

In deze formule staat g voor de valversnelling (deze is 9,8 m/s²), Δv voor de toename van de snelheid (in m/s), Δt voor het tijdsinterval waarin deze snelheidstoename plaats vindt (in s), v_{eind} staat voor de bereikte eindsnelheid (in m/s) en v_{begin} staat voor de beginsnelheid (in m/s).

Met de beginsnelheid is iets bijzonders aan de hand. Bij een vrije val is de beginsnelheid namelijk altijd gelijk aan 0 m/s. Als je een valbeweging goed bekijkt, zul je al snel tot de conclusie komen dat deze altijd vanuit stilstand begint. De formule kan dus herschreven worden tot:

$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{eind}}{\Delta t}$$

In de genoemde formules staat al een heleboel informatie over snelheid en versnelling, maar het is ook interessant iets meer te weten over de afstand waarover een voorwerp valt. Ook deze afstand kan berekend worden met behulp van een formule. Deze formule luidt:

$$y = \frac{1}{2} \cdot v_{eind} \cdot \Delta t$$

In deze formule staat y voor de gevallen afstand (in m, deze wordt hier y genoemd omdat de beweging altijd verticaal is), v_{eind} staat voor de bereikte eindsnelheid (in m/s) en Δt voor het tijdsinterval waarin de snelheidstoename plaats vindt (in s).
In voorbeeld 3.1 gaan we de vrije val eens wat nader bekijken.

Voorbeeld 3.1
Stel je laat een balletje vallen uit het raam. Met een stopwatch meet je de tijd die het balletje nodig heeft om beneden te komen. Deze tijd blijkt 3,0 s te zijn. Je kunt dan heel eenvoudig berekenen met welke snelheid het balletje het aardoppervlak treft:

$$g = \frac{v_{eind}}{\Delta t}$$

$$9{,}8 = \frac{v_{eind}}{3{,}0} \rightarrow v_{eind} = 3{,}0 \cdot 9{,}8 = 29{,}4 \text{ m/s}$$

Als we deze snelheid om zouden rekenen naar km/uur blijkt er sprake te zijn van ongeveer 106 km/uur. Je zult wel denken dat dat wel een héél erg grote waarde is voor 3,0 s vallen. Toch is het antwoord juist. Dit omdat je bij een vrije val steeds de wrijving verwaarloosd en je daarom enorme snelheden kunt bereiken.

Nog maar een voorbeeld om wat meer inzicht te krijgen in de snelheden die bereikt kunnen worden bij een vrije val en de afstanden waarover je je dan verplaatst.

Voorbeeld 3.2
In Xpress (zie figuur 3.2) word je versneld van 0 km/uur naar 94 km/uur in een paar seconden. Je hebt in deze paragraaf kunnen lezen dat het mogelijk is iets te versnellen door het te laten vallen. Als je jezelf laat vallen, versnel je dus jezelf. Om een snelheid van 94 km/uur (= 26,1 m/s) te bereiken moet je gedurende een bepaalde tijd een vrije val ondergaan. Deze tijd kan berekend worden:

$$g = \frac{v_{eind}}{\Delta t}$$

$$9{,}8 = \frac{26{,}1}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{26{,}1}{9{,}8} = 2{,}66 \text{ s}$$

Je moet dus gedurende 2,66 s vallen om een snelheid van 94 km/uur te bereiken. De afstand waarover je dan moet vallen, is dan ook te berekenen:

$$y = \frac{1}{2} \cdot v_{eind} \cdot \Delta t$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot 26{,}1 \cdot 2{,}66 = 35 \text{ m}$$

Ga nu eens na, durf jij je van een hoogte van 35 m te laten vallen? Best heftig toch!


Fig. 3.2: Xpress

VRAGEN

22. In Walibi Holland staan overal bankjes. Ga eens op een van de bankjes staan en spring er vanaf.
  - **a.** Schat hoe lang het duurt voordat je weer op de grond staat.
  - **b.** Bereken de snelheid waarmee je op de grond komt.

23. Het reuzenrad in Walibi Holland La Grande Roue heeft een straal van 23 m, zie figuur 3.3. Het spreekt voor zich dat het ten strengste verboden is iets uit het reuzenrad te laten vallen. Stel je laat toch een klein balletje uit het reuzenrad vallen. Het balletje ondervindt, vanwege zijn omvang, onderweg naar beneden een verwaarloosbare wrijving.
  - **a.** Bereken de snelheid waarmee het balletje de grond treft als het wordt losgelaten vanaf punt A.
  - **b.** Bereken de snelheid waarmee het balletje de grond treft als het wordt losgelaten vanaf punt B.
  - **c.** Bereken de snelheid waarmee het balletje de grond treft als het wordt losgelaten vanaf punt C.

Fig. 3.3: La Grande Roue


Nogmaals, het laten vallen van voorwerpen uit het reuzenrad is ten strengste verboden! Probeer dit dus niet zelf!

Fig. 3.4: Space Shot

24. In Space Shot (zie figuur 3.4) word je eerst verticaal omhoog gelanceerd. Aangekomen in het hoogste punt, laat de attractie je over een bepaalde afstand naar beneden vallen. In deze opgave gaan we onderzoeken of de valbeweging van Space Shot een vrije val is.

- **a.** Maak een schatting van de tijd waarin je in Space Shot naar beneden beweegt.
- **b.** Maak een schatting van de afstand die je in Space Shot aflegt als je je verplaatst van het hoogste punt naar het laagste punt.
- **c.** Bereken de "valversnelling" van Space Shot.
- **d.** Is de valversnelling in Space Shot gelijk aan de theoretische valversnelling? Zo nee, hoe is de afwijking te verklaren?

25. De eerste top van Goliath heeft een hoogte van 46,8 m. Het treintje van Goliath wordt hierdoor versneld tot ongeveer 108 km/uur. Toch zul je een nog veel grotere snelheid bereiken als je vanaf de eerste top loodrecht naar beneden zou vallen.

- **a.** Bereken vanaf welke hoogte je moet vallen om een snelheid van 108 km/uur te bereiken.
- **b.** Bereken welke "valversnelling" je in Goliath ondervindt als je je beweegt vanaf de eerste top naar beneden.

3.2 CIRKELBEWEGING

Als je een rondje door Walibi Holland loopt en je kijkt eens om je heen, zie je dat in allerlei attracties gebruik wordt gemaakt van een draaibeweging. In Walibi Holland draait het letterlijk voor je ogen en dan niet alleen als je iets te vaak Goliath hebt overwonnen.

In de natuurkunde wordt een draaibeweging wat netter omschreven als een **cirkelbeweging**. In een cirkelbeweging verandert de richting waarin je beweegt voortdurend. Eigenlijk ga je steeds een bocht om. Schematisch is het idee achter een cirkelbeweging weergegeven in figuur 3.5. In dit figuur is een cirkel getekend met een middelpunt M. Over deze cirkel beweegt een bolletje met een bepaalde snelheid. Het bolletje is op drie posities (A, B en C) getekend op de cirkelbaan. In iedere positie is met een pijl aangegeven in welke richting de snelheid (afgekort met de letter v) gericht staat.

Je ziet dat in dit figuur de lengte van de snelheidspijlen steeds gelijk is. Dit betekent dat de grootte van de snelheid ook steeds hetzelfde is. Het is echter wel duidelijk dat de richting van de snelheid in elke positie anders is. De conclusie die we hieruit kunnen trekken is dat de snelheid bij een cirkelbeweging dus niet constant is. De grootte van de snelheid kan wel constant zijn, maar de richting is dat natuurlijk nooit.

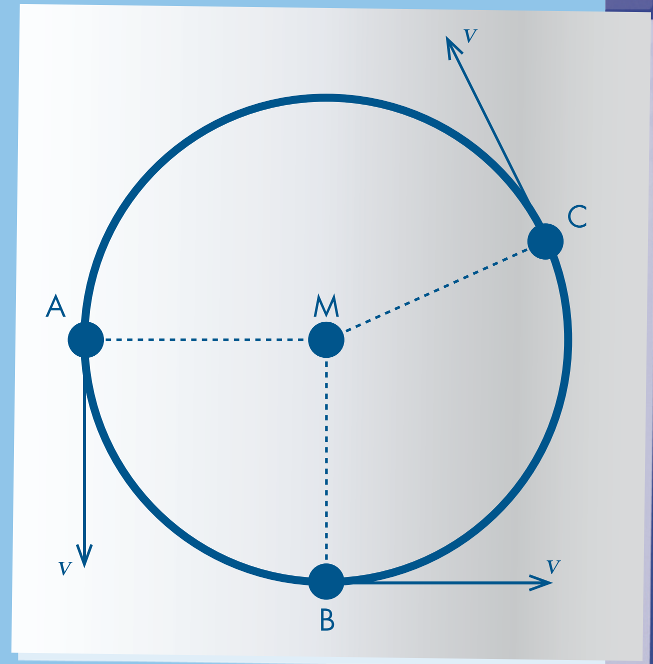


Fig. 3.5: Een cirkelbeweging

Natuurkundigen willen nog steeds alles zo nauwkeurig mogelijk beschrijven en dat hebben ze dus ook gedaan met de cirkelbeweging. Omdat de richting van de snelheid op een cirkelbaan steeds verandert, lijkt het heel erg ingewikkeld te worden om de snelheid te berekenen. In de praktijk valt dat echter best mee.

Als je een cirkelbeweging goed bekijkt, zul je er snel achter komen dat er een rondje gedraaid wordt en dat dit rondje eigenlijk gewoon steeds herhaald wordt. De tijd die het kost om één ronde te maken, is een bijzondere tijd met daarom een bijzondere naam. De tijd nodig voor één omwenteling heet de **omlooptijd** en wordt afgekort met een T (een hoofdletter T dus). Een bijzondere afstand die in een cirkelbaan te herkennen is, is de **straal** van de baan. Dit is de afstand van het bewegende voorwerp (in figuur 3.5 het bolletje) tot het middelpunt van de cirkelbaan. De straal van een cirkel wordt afgekort met een r (van "radius").

Als je de cirkelbeweging van bijvoorbeeld figuur 3.5 nog eens goed bekijkt, kun je achter het volgende komen. De afstand die wordt afgelegd in één omlooptijd is precies gelijk aan de omtrek van de cirkelbaan. Nu is het zo dat we de omtrek van een cirkel kunnen berekenen: omtrek = $2 \cdot \pi \cdot r$

In deze formule staat r dus voor de straal (in m) en staat π voor het getal *pi* (π is een wiskundig getal, gelijk aan 3,1415…). In deel 2.2 hebben we het al gehad over snelheid. We hebben snelheid toen als volgt vastgelegd:

$$\text{Snelheid} = \frac{\text{afgelegde afstand}}{\text{tijd}}$$

In een cirkelbeweging geldt nu dat gedurende een tijd, gelijk aan de omlooptijd, een afstand wordt afgelegd, gelijk aan de omtrek van de cirkel. Door de formule voor snelheid wat aan te passen, kunnen we de snelheid bij een cirkelbeweging berekenen:

$$\text{Snelheid} = \frac{\text{omtrek}}{\text{omlooptijd}}$$

De snelheid gaan we weer afkorten met een v en voor de omtrek geldt (omtrek = $2 \cdot \pi \cdot r$). Als we deze informatie invullen in de formule ontstaat de formule voor de snelheid in een cirkelbeweging:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$$

Omdat deze snelheid hoort bij een bijzondere beweging heeft hij ook een bijzondere naam gekregen. De snelheid in een cirkelbeweging wordt ook wel de **baansnelheid** genoemd.

Maar dan zijn we er nog niet. Bekijk figuur 3.5 nog eens. In dit figuur is er steeds een stippellijntje getekend vanaf het bewegende bolletje tot het middelpunt van de cirkelbaan. Als je de drie posities (A, B en C) nog eens bekijkt, zie je dat het stippellijntje steeds over een bepaalde hoek verdraaid is. Natuurkundigen zien dit ook en zien dan ook meteen de mogelijkheid iets nieuws te brengen. Het stippellijntje draait namelijk ook rond. Het doet dat alleen op een heel andere manier dan het bolletje. Het bolletje beweegt echt en het lijntje verdraait.

Nu hadden we al vastgelegd dat de tijd die het bolletje nodig had om één keer rond te draaien de omlooptijd is. De tijd die het lijntje dus nodig heeft om één keer rond te draaien, is dan natuurlijk ook gelijk aan de omlooptijd. Het lijntje verdraait in deze tijd over een hoek van 360°. Dit gaan we vastleggen in de snelheid van het lijntje. Deze snelheid noemt men de **hoeksnelheid**. De hoeksnelheid wordt afgekort met de Griekse letter ω (omega). Voor de hoeksnelheid geldt:

$$\text{Hoeksnelheid} = \frac{\text{verdraaide hoek}}{\text{omlooptijd}}$$

Invullen van de symbolen levert dan op:

$$\omega = \frac{360°}{T}$$

In deze formule staat T dus voor de omlooptijd (in s) en ω voor de hoeksnelheid. De hoeksnelheid geeft aan over hoeveel graden er gedraaid wordt in één seconde. De eenheid die bij hoeksnelheid hoort is dan ook "graden per seconde", °/s.

Voorbeeld 3.3

In deze opgave wordt de beweging bekeken van een draaiend fietswiel. Zie figuur 3.6. Op het fietswiel zijn een ventiel (in de figuur aangegeven met een bolletje) en spaken te herkennen. De straal van het wiel is 0,45 m.
Het fietswiel wordt in een draaibeweging gebracht en draait daarbij 80 keer rond in één minuut. De omlooptijd van het wiel kan dan berekend worden:

$$T = \frac{60}{80} = 0{,}75 \text{ s}$$

De snelheid van het ventiel is gelijk aan de baansnelheid:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$$

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0{,}45}{0{,}75} = 3{,}77 \text{m/s}$$

De snelheid van de spaken is gelijk aan de hoeksnelheid:

$$\omega = \frac{360°}{T}$$

$$\omega = \frac{360°}{0{,}75} = 480 \text{ °/s}$$


Fig. 3.6: Een draaiend fietswiel.

VRAGEN


Fig. 3.7: La Grande Roue

26. In figuur 3.7 zie je een foto van La Grande Roue, het reuzenrad in Walibi Holland. Hoewel de snelheid in een reuzenrad erg beperkt is, voer je in een reuzenrad natuurlijk een cirkelbeweging uit. De diameter van La Grande Roue is 46 m.
   - **a.** Meet de omlooptijd van La Grande Roue.
   - **b.** Bereken de baansnelheid van La Grande Roue.
   - **c.** Wat kun je zeggen over de richtingen van de baansnelheid in La Grande Roue als je het laagste punt vergelijkt met het hoogste punt?
   - **d.** Bereken de hoeksnelheid van La Grande Roue.

Fig. 3.8: G-Force


27. In figuur 3.8 zie je een foto van G-Force. Tijdens een ritje in G-Force maak je een verticale cirkelbeweging.
   - **a.** Meet de omlooptijd van G-Force.
   - **b.** Maak een schatting van de straal van G-Force.
   - **c.** Bereken de baansnelheid van G-Force.
   - **d.** Bereken de hoeksnelheid van G-Force.

28. In figuur 3.9 zie je een foto van Super Swing, de zweefmolen in Walibi Holland. In Super Swing maak je natuurlijk ook een cirkelbeweging.
   a. Meet de omlooptijd van Super Swing.
   b. Maak een schatting van de straal van Super Swing.
   c. Bereken de baansnelheid van Super Swing.
   d. Bereken de hoeksnelheid van Super Swing.

Fig. 3.9: Super Swing

3.3 TRILLINGEN

In paragraaf 3.2 heb je een aantal eigenschappen van de cirkelbeweging moeten bestuderen. Je hebt kunnen merken dat een cirkelbeweging behoorlijk ingewikkeld kan zijn omdat je nou eenmaal voortdurend "door de bocht" gaat. Toch kun je ook het gevoel krijgen dat een cirkelbeweging juist heel eenvoudig te omschrijven is. Als je de maat van de cirkelbaan (in de zin van de straal van de baan) en de omlooptijd weet, kun je al een heleboel berekenen. In een cirkelbeweging draai je een rondje en dat rondje herhaal je eigenlijk steeds weer. Dat herhalen gaan we in deze paragraaf eens wat nader bekijken.

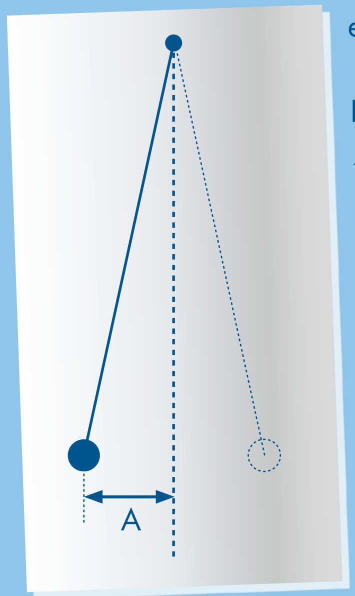


Fig. 3.10: Een slinger

Een beweging die gedurende een bepaalde tijd plaatsvindt en zichzelf daarna voortdurend herhaalt, wordt in de natuurkunde een **trilling** genoemd. Een trilling is dus een **periodieke beweging**. Een bekend voorbeeld van een trilling is de beweging die wordt uitgevoerd door een slinger, zie figuur 3.10. In de figuur is twee keer een uiterste stand van de slinger aangegeven (aan de linker en rechter zijde). Ook is de **evenwichtsstand** van de slinger weergegeven. De evenwichtsstand is de stand waarin de slinger hangt als deze niet in beweging is. Alle posities van de slinger (dat wil zeggen alle posities van het bolletje) worden gemeten ten opzichte van deze evenwichtsstand. In de figuur is ook de afstand aangegeven van een uiterste stand van de slinger tot de evenwichtsstand. Deze afstand wordt ook wel de **amplitudo** van de slinger genoemd. In de figuur is deze afgekort met de letter A.

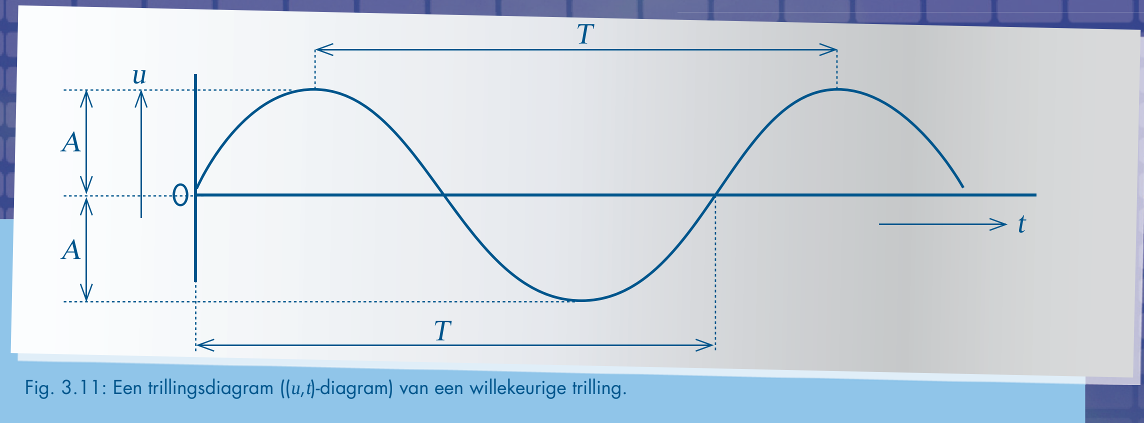


Fig. 3.11: Een trillingsdiagram ((*u*,*t*)-diagram) van een willekeurige trilling.

In deel 2.3 is uitgelegd dat het vaak heel handig kan zijn om informatie over een beweging vast te leggen in een diagram. De positie van het bewegende voorwerp wordt dan uitgezet tegen de tijd. Omdat een trilling een bijzondere vorm van beweging is, krijgt de positie van een trillend voorwerp in de loop van de tijd ook een bijzondere naam. Deze wordt de **uitwijking** genoemd en afgekort met de letter u. Verder is het vastleggen van een trilling in een diagram vergelijkbaar met het vastleggen van een beweging rechtdoor. Trillingsdiagrammen zien er vaak uit op de manier zoals weergegeven in figuur 3.11. De amplitudo is ook in dit figuur aangegeven. Figuur 3.11 kan worden gekoppeld aan figuur 3.10. Voor de beweging links van de evenwichtsstand in figuur 3.10 is de uitwijking dan bijvoorbeeld positief (het (u,t)-diagram ligt boven de t-as). Voor de beweging rechts van de evenwichtsstand in figuur 3.10 is de uitwijking dan negatief. Overigens kan positief en negatief daarbij ook worden omgedraaid.

In figuur 3.11 is ook de trillingstijd (met een letter T) aangegeven. De trillingstijd is de tijd die nodig is om één volledige trilling uit te voeren. Waar je de trilling dan begint te bekijken, is niet zo van belang. Als je maar steeds weer terugkeert in hetzelfde punt en in dezelfde richting.

De trillingstijd voor een trilling is vergelijkbaar met de omlooptijd in een cirkelbeweging, zoals besproken in paragraaf 3.2. Nu we weten dat een trillingstijd de tijd is die nodig is voor één volledige trilling kunnen we ook heel makkelijk berekenen hoeveel trillingen er worden uitgevoerd in (bijvoorbeeld) één seconde.

Het aantal trillingen dat wordt uitgevoerd in één seconde wordt ook wel de **frequentie** genoemd. Om de frequentie te kunnen berekenen, moet de trillingstijd dus bekend zijn. Vervolgens moet er gezocht worden hoeveel keer deze trillingstijd in één seconde past. Even nadenken, leidt dan tot de volgende formule voor de frequentie:

$$f = \frac{1}{T}$$

In deze formule staat T voor de trillingstijd (in s) en f voor de frequentie. De eenheid van frequentie kan eenvoudig worden afgeleid uit de definitie. Je komt dan uit op aantal trillingen per seconde. Omdat frequentie toch wel erg vaak gebruikt wordt in de natuurkunde hebben ze er een aparte naam voor bedacht, de **hertz** (afgekort Hz).

VRAGEN

29. Trillingen kunnen in een goed te volgen tempo verlopen, maar kunnen ook enorm snel zijn. Men maakt in dit laatste geval vaak gebruik van de eenheden ms (milliseconde) en µs (microseconde) voor de trillingstijd en kHz (kilohertz) en MHz (megahertz) voor de frequentie.

- **a.** Reken 1,5 ms om in s.
- **b.** Reken 100 µs om in s.
- **c.** Reken 50 kHz om in Hz.
- **d.** Reken 2,8 MHz om in Hz.
- **e.** Reken 250.000 Hz om in kHz en MHz.
- **f.** Reken 0,002 s om in ms en µs.

30. In figuur 3.12 staat het (*u*,*t*)-diagram weergegeven van een trilling.

- **a.** Bepaal de amplitudo van deze trilling.
- **b.** Bepaal de trillingstijd van deze trilling.
- **c.** Bereken de frequentie van deze trilling.

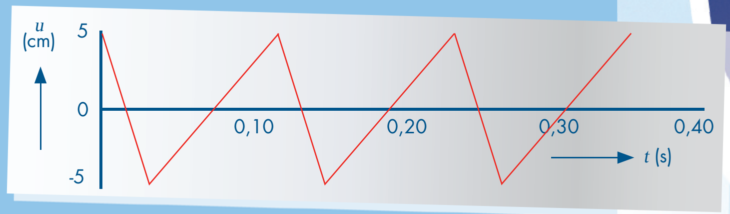


Fig. 3.12: Een zaagtandvormig (*u*,*t*)-diagram.

31. In figuur 3.13. staat het (*u*,*t*)-diagram weergegeven van een trilling. Deze trilling wordt ook wel een harmonische trilling genoemd omdat hij zo geleidelijk verloopt.

- **a.** Bepaal de amplitudo van deze trilling.
- **b.** Bepaal de trillingstijd van deze trilling.
- **c.** Bereken de frequentie van deze trilling.

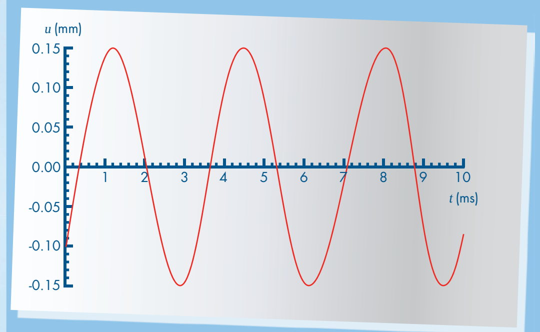


Fig. 3.13: Een (*u*,*t*)-diagram (van een harmonische trilling).

32. De duidelijkste trilling die je kunt herkennen in Walibi Holland is toch wel de beweging van Hudson Bay. Zie figuur 3.14. Deze schommelboot voert een beweging uit die best vergelijkbaar is met de slinger die besproken is in het begin van deze paragraaf.

- **a.** Bekijk Hudson Bay eens goed en maak een schatting van de amplitudo van de slingerbeweging als je op het middelste bankje zit.
- **b.** Maak een schatting van de trillingstijd van Hudson Bay.
- **c.** Bereken de frequentie van Hudson Bay.

Fig. 3.14: Hudson Bay

33. Eén van de grootste sensaties in Walibi Holland is toch wel Skydiver, zie figuur 3.15. In deze attractie word je in een tuigje gehangen en tot op een aanzienlijke hoogte opgehesen. Vervolgens word je losgelaten en begin je te slingeren met een gigantische amplitudo.

- **a.** Bekijk Skydiver eens goed en maak een schatting van de trillingstijd van deze slinger.
- **b.** Bereken de frequentie van Skydiver.

Fig. 3.15: Skydiver

KRACHTEN

In de vorige delen hebben we het steeds gehad over bewegingen. Je bent dan eigenlijk op een heel directe manier met natuurkunde bezig. Je observeert een verschijnsel (een bepaald type beweging dus) en je probeert dit verschijnsel zo nauwkeurig mogelijk te omschrijven. Dit doe je dan op een manier waarmee je allerlei berekeningen kunt uitvoeren. Je probeert nieuwe(re) feiten over het verschijnsel te weten te komen.
Maar natuurkundigen zouden geen natuurkundigen zijn als ze hier al tevreden mee zouden zijn. Een natuurkundige wil namelijk altijd méér weten. Het is niet alleen de bedoeling kennis te hebben over hoe een verschijnsel in zijn werk gaat. Men wil in de natuurkunde ook verklaringen vinden over het feit waarom er gebeurt wat je waar hebt genomen.
In dit hoofdstuk gaan we daarom een klein beetje op zoek naar waarom bepaalde bewegingen zijn zoals ze zijn. We komen dan terecht bij een begrip dat men kracht noemt. Je weet al dat een voorwerp in een vrije val komt als alleen de zwaartekracht op het voorwerp werkt.
We gaan zo dadelijk eerst eens kijken wat een kracht precies is. Daarna bespreken we een aantal bijzondere krachten en krachten die we goed kunnen begrijpen. Tot slot proberen we dan de link te leggen met beweging.

4.1 WAT ZIJN KRACHTEN?

Het begrip 'kracht' wordt in het dagelijks taalgebruik vaak gebruikt. De opmerking 'ik heb er geen kracht meer voor' zegt eigenlijk alles. In de natuurkunde is kracht echter een grootheid, iets dat dus gemeten kan worden. Het grote probleem is alleen dat krachten onzichtbaar zijn. Je kunt ze niet zien, je kunt ze niet horen, maar soms kun je ze wel voelen. De gevolgen van het werken van een kracht zijn echter wel altijd goed zichtbaar. Daar moeten we ons dus maar aan vasthouden.
Een definitie van kracht is moeilijk te geven en eigenlijk in geen enkel natuurkundeboek te vinden. Laten we het toch maar proberen: Een kracht is de eigenschap die het ene voorwerp uitoefent op het andere voorwerp. En ja het klopt, nu weet je nog niks. Hoewel? Uit de definitie is wel op te maken dat er voor krachtwerking blijkbaar altijd twee voorwerpen nodig zijn. Eén voorwerp dat de kracht ondervindt en één voorwerp dat de kracht uitoefent.

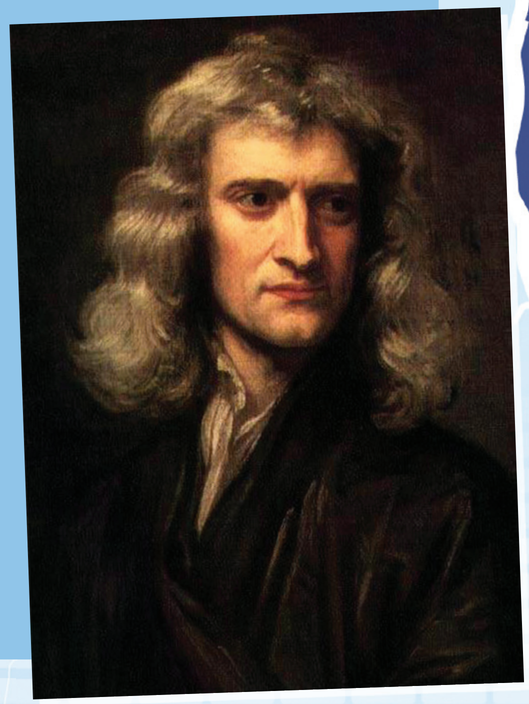


Fig. 4.1: Isaac Newton.

De grootheid kracht gaan we afkorten met de letter F (van 'force', de Engelse term voor kracht). Kracht heeft ook een eenheid, de Newton (afgekort met een letter N), genoemd naar Isaac Newton, één van de grootste natuurkundigen ooit. Zie figuur 4.1. Newton, die leefde van 1643 tot 1727, heeft ontzettend veel betekend voor het deel van de natuurkunde waar je in dit boekje mee bezig bent (de klassieke mechanica). Een kracht van één Newton is niet een zo heel erg grote kracht. Als hulp kun je onthouden dat een massa van 100 gram ongeveer gelijk staat aan een kracht van 1 N. Leg je een voorwerp op je hand dat een massa heeft van 100 gram dan voel je dat het voorwerp tegen je hand drukt. De kracht die je op je hand ervaart, is ongeveer 1 N (en dat is dus niet een zo heel erg grote kracht). Een massa van één kilogram staat dus ongeveer gelijk aan een kracht van 10 N. Later komen we nog terug op de grootte van krachten.
Als we krachten aan het bestuderen zijn, moeten we op drie aspecten van krachtwerking letten. Op de eerste plaats is daar de grootte van de kracht (uitgedrukt in Newton). Ook moet je steeds rekening houden met de richting van de kracht. Een kracht die bijvoorbeeld naar voren gericht is, heeft natuurlijk een heel ander effect dan een kracht die naar achteren gericht is. Tot slot is ook het aangrijpingspunt van een kracht van belang. Dit aangrijpingspunt kan (net als de grootte en de richting van de kracht) ook enige informatie geven over de gevolgen die de kracht heeft. In de volgende paragraaf zullen we in gaan op een aantal soorten krachten.

VRAGEN

34. De grootheid kracht wordt uitgedrukt in de eenheid Newton (N). In bepaalde gevallen kan het echter ook handig zijn gebruik te maken van de kilonewton (kN) of de millinewton (mN).
   - **a.** Reken 5,5 kN om in N.
   - **b.** Reken 80 mN om in N.
   - **c.** Reken 12,5 N om in kN.
   - **d.** Reken 12,5 N om in mN.

35. Om een indruk te krijgen van de grootte van een kracht wordt deze weleens omgerekend naar een massa. In de paragraaf staat de factor waarmee dit kan, genoemd.
   - **a.** Druk een massa van 0,500 kg uit in N.
   - **b.** Druk een massa van 0,25 g uit in N.
   - **c.** Druk een kracht van 0,15 kN uit in kg.

4.2 KRACHTEN TEKENEN

Het begrip kracht is best lastig te begrijpen. Het is namelijk steeds de bedoeling uit te zoeken hoe groot een kracht is, in welke richting hij werkt en waar hij nou precies aangrijpt. Dat is veel informatie. Men heeft daarom bedacht krachten aan te geven met behulp van pijlen. De richting van de pijl is dan natuurlijk ook meteen de richting van de kracht. De lengte van de pijl kan een maat zijn voor de grootte van de kracht (hoe langer de pijl, hoe groter de kracht). De plek waar de pijl begint (vaak aangegeven met een bolletje) kan dienen als het aangrijpingspunt. Laten we dat maar eens bekijken aan de hand van een voorbeeld.

Voorbeeld 4.1

In figuur 4.2 staat Space Shot afgebeeld. Op één persoon zijn de krachten getekend. In de weergegeven situatie staat Space Shot op het punt gelanceerd te worden.
De proefpersoon wordt via een kracht naar beneden getrokken in haar stoel. De zwaartekracht zorgt ervoor dat dit gebeurt.
De zwaartekracht is de kracht waarmee de aarde trekt aan alles wat in haar omgeving komt. De zwaartekracht werkt op aarde altijd (of je moet je op heel erg grote hoogte bevinden) en is altijd loodrecht naar beneden gericht (naar het middelpunt van de aarde).

Fig. 4.2: Krachten in Space Shot

Het meisje op de foto van figuur 4.2 zit echter stil in haar stoeltje. Dit betekent dat er nog een tweede kracht op haar zal moeten werken. Zou immers alleen de zwaartekracht werken dan zou ze naar beneden vallen en dat gebeurt niet. Er moet dus nog een kracht loodrecht naar boven werken. Deze kracht zal even groot zijn als de zwaartekracht, maar tegengesteld gericht. Het enige voorwerp waarmee het meisje nog contact maakt is het stoeltje waarop ze zit. Haar stoeltje is dan ook het voorwerp dat de kracht op haar uitoefent. Aangezien deze kracht recht naar boven wijst (tegengesteld gericht aan de zwaartekracht) en dus ook loodrecht op het stoeltje wijst, wordt hij de normaalkracht genoemd. Deze kracht werkt eigenlijk als een soort van ondersteuning in deze situatie.
In figuur 4.2 is te zien dat de, hier werkende, normaalkracht en zwaartekracht even groot zijn en tegengesteld gericht. Dit betekent dat de krachten elkaar opheffen. We zeggen ook wel dat de totaalkracht in deze situatie gelijk is aan 0 N. Je ziet ook dat de krachten zijn afgekort. Je wist al dat kracht wordt afgekort met de hoofdletter F. Met een index wordt duidelijk gemaakt om wat voor soort kracht het gaat, F_z staat voor zwaartekracht en F_n voor normaalkracht.

In de praktijk bestaan er allerlei soorten krachten. Al deze krachten hebben hun eigenschappen en ontstaan. In tabel 4.1 worden een aantal krachten opgesomd.

Tabel 4.1: Soorten krachten

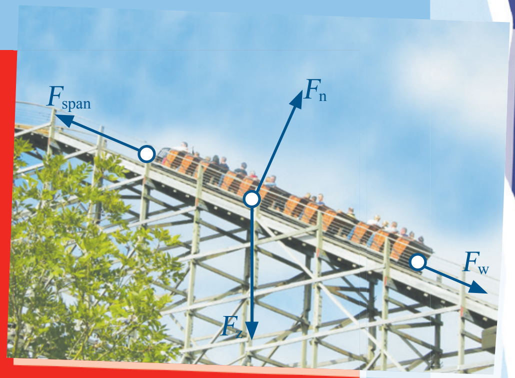
Kracht	Symbool	Bijzonderheden
Zwaartekracht	F	De zwaartekracht is de kracht die de aarde uitoefent op ieder voorwerp dat zich op aarde bevindt. De zwaartekracht grijpt aan in het middelpunt van een voorwerp. Dit punt noemt men daarom ook wel eens het zwaartepunt. De zwaartekracht is altijd loodrecht naar beneden gericht (naar het middelpunt van de aarde). Meer over deze bijzondere kracht vind je in paragraaf 4.4.
Normaalkracht	F_n	De normaalkracht is een kracht die op een voorwerp werkt wanneer er sprake is van een ondersteuning. Dit betekent dus dat het voorwerp ergens op ligt. De normaalkracht is altijd gericht loodrecht op dit ondersteunende oppervlak.
Spierkracht	F_{spier}	De spierkracht is de kracht die uitgeoefend wordt door mens of dier. De spierkracht is altijd gericht in de richting waarin het voorwerp dat de kracht ondervindt, beweegt of kan gaan bewegen.
Spankracht	F_{span}	De spankracht is de kracht die werkt in touwen, koorden of kabels. De spankracht is gericht in het verlengde van het/de betreffende touw, koord of kabel.
Veerkracht	F_v	De veerkracht is te vergelijken met de spankracht. In situaties waarin er sprake is van een veerkracht is er echter geen sprake van touwen maar van veren. Een belangrijk verschil hierbij is dat een veerkracht groter wordt als de veer verder wordt uitgerekt. Meer over veren en veerkrachten vind je in paragraaf 4.5.
Wrijvingskracht	F_w	De wrijvingskracht is een kracht die moeilijk te begrijpen is. Wrijving werkt in ieder geval een beweging altijd tegen en is daarom ook vaak nadelig. De wrijvingskracht is altijd tegengesteld gericht aan de bewegingsrichting. Een voorwerp dat niet beweegt, kan echter ook wrijving ondervinden. De wrijvingskracht is dan tegengesteld gericht aan de richting waarin het voorwerp zou kunnen gaan bewegen. In paragraaf 4.7 lees je meer over wrijving.

4.2 KRACHTEN TEKENEN

Om een aantal van de krachten uit tabel 4.1 beter te leren kennen, bekijken we in voorbeeld 4.2 het ophijsen van het treintje van Robin Hood.

Voorbeeld 4.2

In figuur 4.3 is te zien hoe het treintje van de houten achtbaan Robin Hood wordt opgehesen.
Dit ophijsen gebeurt via een kabel. Op het treintje zal dus een spankracht F_{span} werken. Het spreekt voor zich dat deze kracht gericht is langs de helling naar boven.
Ook werkt er op het treintje een zwaartekracht F_z. Deze kracht is altijd loodrecht naar beneden gericht (naar het midden van de aarde). In figuur 4.3 is deze richting aangegeven. Misschien is hij iets minder vanzelfsprekend dan in figuur 4.2 (de Space Shot) omdat het treintje op een helling staat, maar dit is wel de juiste richting. Dit zelfde geldt voor de normaalkracht F_n. Deze kracht staat loodrecht op de ondersteuning, hier is dat de rails op de helling. De wrijvingskracht F_w is tegengesteld gericht aan de beweging van het treintje. Omdat het treintje langs de helling naar boven wordt getrokken, zal de wrijvingskracht langs de helling naar beneden zijn gericht.



Figuur 4.3: Kracht op het treintje van Robin Hood.

Je ziet dat in voorbeeld 4.2 de regels die geleden voor allerlei soorten krachten heel precies worden toegepast. In de volgende opgaven ga je ook allerlei situaties bekijken waarin sprake is van krachten. Probeer steeds goed te bekijken om welke krachten het gaat, welke richting ze hebben en hoe ze zich qua grootte tot elkaar verhouden.

36. In figuur 4.4 zie je een foto van een deel van de helling waarover het treintje van El Condor omhoog wordt gehesen. Eén passagier in het treintje is aangegeven met een stip. Teken de krachten die op deze passagier werken. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.


Figuur 4.4: De helling van El Condor.

37. Maak twee foto's van Space Shot. Eén foto waarbij de ring van Space Shot zich in het laagste punt bevindt (foto A) en één foto waarbij de ring zich in het hoogste punt bevindt (foto B).

- **a.** Teken de krachten op een passagier in de situatie van foto A. Neem precies het moment waarop de ring gelanceerd wordt. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.
- **b.** Teken de krachten op een passagier in de situatie van foto B. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.

38. In figuur 4.5 zie je een foto van Tomahawk. Op het moment van de foto bevindt de schijf zich in een uiterste stand. Eén passagier op de schijf is aangegeven met een stip. Teken de krachten die op deze passagier werken. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.

Figuur 4.5: De Tomahawk in zijn uiterste stand.

39. Maak een foto van G-Force op het moment dat de attractie rechtop staat. Bekijk de volgende drie situaties, die overigens behoorlijk ingewikkeld zijn, dus denk goed na en pas de regels logisch toe.
- **a.** Teken de krachten op een passagier als deze zich in het laagste punt van de cirkel bevindt. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.
- **b.** Teken de krachten op een passagier als deze zich in het hoogste punt van de cirkel bevindt. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.
- **c.** Teken de krachten op een passagier als deze zich in een van de punten aan de zijkant van de cirkel bevindt. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.

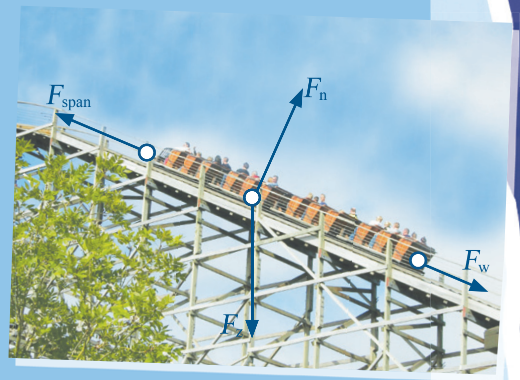
40. In figuur 4.6 zie je een foto van Super Swing. Op het moment van de foto zweeft de attractie volop. Eén passagier in de zweefmolen is aangegeven met een stip. Teken de krachten die op deze passagier werken. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.


Figuur 4.6: Super Swing.

41. Maak een foto van de looping van Speed of Sound, precies op het moment dat het treintje op zijn kop in de looping hangt. Teken de krachten op een passagier die in het treintje zit en die zich precies in het hoogste punt van de looping bevindt. Geef de krachten de juiste naam en probeer ze in verhouding tot elkaar te tekenen.

4.3 KRACHTEN OPTELLEN

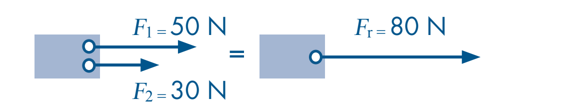
In de vorige twee paragrafen hebben we een aantal eigenschappen van krachten bekeken. We hebben gezien dat krachten een grootte (in Newton), een richting en een aangrijpingspunt hebben. Omdat krachten zowel een grootte als een richting hebben, worden ze ook wel vectoren genoemd. Eerder heb je al te maken gehad met grootheden als snelheid en versnelling. Ook deze grootheden zijn voorbeelden van vectoren.



Figuur 4.5: Kracht op het treintje van Robin Hood.

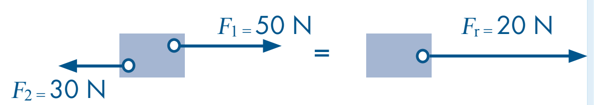
In de vorige paragraaf heb je kunnen zien dat er in de meeste situaties niet één, maar meerdere krachten werken op hetzelfde voorwerp. Toch proberen we steeds tot een situatie te komen waarin er maar één kracht werkt. Als er dan toch meerdere krachten werken, moeten we deze krachten bij elkaar optellen. Er blijft dan één (totaal) kracht over. Deze totaalkracht noemen we in de natuurkunde de resulterende kracht.
Het optellen van krachten is niet zo eenvoudig. Krachten hebben immers een grootte en een richting. Bij het optellen van krachten moet er dan ook rekening worden gehouden met zowel de grootte van de kracht als de richting van de kracht. In twee situaties is dat niet zo heel erg moeilijk. Als twee krachten bij elkaar moeten worden opgeteld en de krachten staan in dezelfde richting, kunnen de grootten van de krachten bij elkaar worden opgeteld. Staan de twee krachten in tegengestelde richting moeten ze van elkaar worden afgetrokken. De richting van de resulterende kracht moet dan wel nog even bekeken worden, maar die is erg logisch. We bekijken deze twee situaties eens in een voorbeeld.

Voorbeeld 4.3
Op een voorwerp werken twee krachten. We gaan deze twee krachten F_1 en F_2 noemen. Kracht F_1 heeft een grootte van 50 N en is naar rechts gericht. Kracht F_2 heeft een grootte van 30 N en is ook naar rechts gericht. De resulterende kracht F_r in deze situatie is dan gelijk aan 80 N (50 N + 30 N), gericht ook naar rechts. Zie figuur 4.7.



Figuur 4.7: Krachten optellen die in dezelfde richting staan.

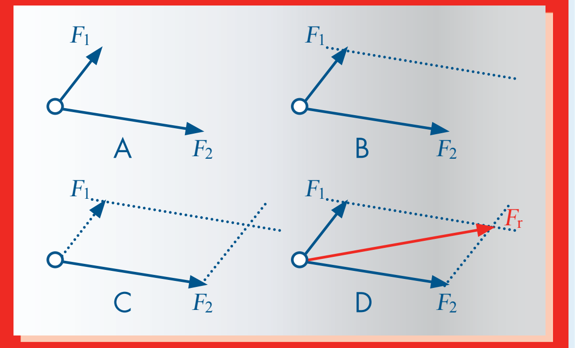
Het is een andere situatie als kracht F_2 niet naar rechts werkt, maar naar links. De resulterende kracht F_r in deze nieuwe situatie is dan gelijk aan 20 N (50 N – 30 N), gericht ook naar rechts. Zie figuur 4.8.



Figuur 4.8: Krachten optellen die in tegengestelde richting staan.

De situaties die beschreven zijn in voorbeeld 4.3 zijn natuurlijk erg mooi. In de praktijk is de ligging van krachten ten opzichte van elkaar echter vaak veel ingewikkelder. In de vorige paragraaf heb je daarvan al een paar voorbeelden kunnen zien. Als je krachten bij elkaar op wil tellen die niet in dezelfde richting of in tegengestelde richting staan, ga je te werk zoals in voorbeeld 4.4 ook gedaan wordt.

Voorbeeld 4.4
We bekijken een voorwerp waarop twee krachten werken, F_1 en F_2. Zie figuur 4.9A. Eerst teken je een lijn evenwijdig aan F_2, door de kop van F_1 (figuur 4.9B). Vervolgens teken je een lijn evenwijdig aan F_1, door de kop van F_2 (figuur 4.9C) Het snijpunt van beide lijnen geeft de kop aan van de resulterende kracht F_r. Met een krachtenschaal kan de grootte van de resulterende kracht worden opgemeten.



Figuur 4.9: Krachten optellen die in een willekeurige richting staan.

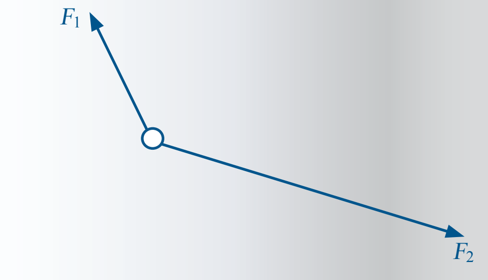
In voorbeeld 4.4 werd heel even de term krachtenschaal genoemd. Dit is een manier om ook de grootte van krachten handig weer te kunnen geven. Er kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van een krachtenschaal waarbij een pijllengte van 1 cm overeenkomt met 10 N. Een dergelijke krachtenschaal kan kort omschreven worden op de volgende manier: 1 cm = 10 N (spreek uit: één centimeter komt overeen met een kracht van tien Newton). Om dan een kracht te tekenen van 50 N is een pijl nodig van 5 cm.

42. Op een voorwerp werken drie krachten F_1, F_2 en F_3. Kracht F_1 heeft een grootte van 25 N en werkt naar rechts. Kracht F_2 heeft een grootte van 15 N en werkt ook naar rechts. Kracht F_3 heeft een grootte van 70 N en werkt naar links.
   a. Teken deze situatie. Gebruik de krachtenschaal: 1 cm 10 N.
   b. Bepaal de grootte en de richting van de resulterende kracht. Geef deze ook in de tekening aan.

43. Op een voorwerp werken vier krachten F_1, F_2, F_3 en F_4. Kracht F_1 heeft een grootte van 5 N en werkt naar rechts. Kracht F_2 heeft een grootte van 7,5 N en werkt naar links. Kracht F_3 heeft een grootte van 10 N en werkt weer naar rechts. Kracht F_4 heeft een grootte van 2,5 N en werkt ook naar rechts.
   a. Teken de gegeven situatie. Bedenk zelf een krachtenschaal.
   b. Bepaal de grootte en de richting van de resulterende kracht. Geef deze ook in de tekening aan.

44. Op een voorwerp werken twee krachten F_1 en F_2. Zie figuur 4.10. In dit figuur is de volgende krachtschaal gebruikt: 1 mm ≡ 5 N.

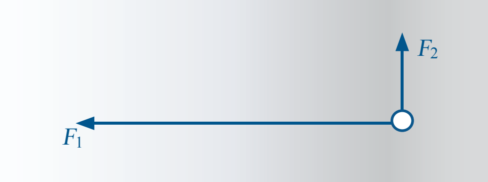
a. Bepaal de grootte van kracht F_1 en F_2.
b. Bepaal de grootte en de richting van de resulterende kracht.



Figuur 4.10: Op een voorwerp werken twee krachten.

45. Op een voorwerp werken twee krachten F_1 en F_2. Zie figuur 4.11. In dit figuur is de volgende krachtschaal gebruikt: 1 cm ≡ 2 N.

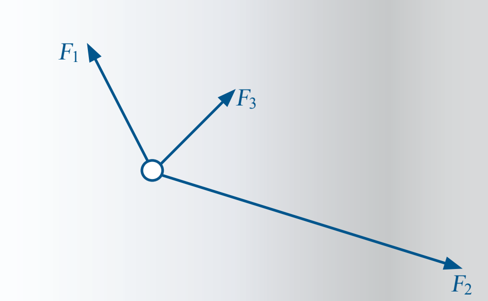
a. Bepaal de grootte van kracht F_1 en F_2.
b. Bepaal de grootte en de richting van de resulterende kracht.



Figuur 4.11: Op een voorwerp werken twee krachten.

46. Op een voorwerp werken drie krachten F_1, F_2 en F_3. Zie figuur 4.12. In dit figuur is de volgende krachtschaal gebruikt: 1 cm ≡ 10 N.

a. Bepaal de grootte van kracht F_1, F_2 en F_3.
b. Bepaal de grootte en de richting van de resulterende kracht.



Figuur 4.12: Op een voorwerp werken drie krachten.

4.4 BIJZONDERE KRACHTEN: DE ZWAARTEKRACHT

In deel 4.2 zijn een aantal bijzondere krachten al genoemd. In deze paragraaf gaan we de **zwaartekracht** verder bekijken. De zwaartekracht is de kracht die de aarde uitoefent op alles wat in haar buurt komt. Als je een pen in je hand hebt en je laat deze los, valt hij naar de aarde toe. Ga je op een stoel staan en spring je daar van af, val je naar de grond. Sta je op de grond en spring je omhoog, dan zal het niet lang duren voordat je weer terugkeert op de grond. Dit alles heeft met zwaartekracht te maken. De aarde wil alles zo dicht mogelijk bij zich hebben.
De zwaartekracht van de aarde is er natuurlijk al zolang de aarde bestaat. Een exacte omschrijving van de 'aantrekking' van de aarde heeft nog best lang op zich laten wachten. Het verhaal gaat dat het Isaac Newton was die een appel uit de boom zag vallen en toen tot het inzicht van de zwaartekracht kwam. Zie figuur 4.12.

Als je goed nadenkt over de zwaartekracht merk je snel dat het hier eigenlijk om een heel bijzondere kracht gaat. De zwaartekracht werkt namelijk 'op afstand'. Dat vraagt om enige uitleg! Als je krachten wil laten werken, zul je merken dat er altijd contact is tussen het voorwerp dat de kracht uitoefent en het voorwerp dat de kracht ondervindt. Wil je bijvoorbeeld je tas optillen dan oefen je een spierkracht uit op je tas. Er is contact tussen jou (degene die de kracht uitoefent) en de tas (het voorwerp dat de kracht ondervindt). Het treintje van een achtbaan dat langs een helling omhoog wordt getrokken, ondervindt een spankracht via de kabel die aan het treintje vast is gemaakt. Er is weer contact tussen het voorwerp dat de kracht uitoefent (de kabel) en het voorwerp dat de kracht ondervindt (het treintje). Bij de zwaartekracht is dat niet het geval. Als je van een stoel af springt, val je naar beneden. We waren het er al over eens dat dat met de zwaartekracht te maken heeft. Maar als je even in de lucht 'hangt', is er geen contact tussen jou en de aarde. En toch ben jij het die de zwaartekracht ondervindt en is het de aarde die die kracht op jou uitoefent. De conclusie is dus dat de zwaartekracht op afstand kan werken. Er hoeft geen contact te zijn tussen het voorwerp en de aarde. Best bijzonder dus!

Over de richting van de zwaartekracht hebben we het al gehad. De zwaartekracht is altijd loodrecht naar beneden gericht, naar het middelpunt van de aarde. Ook de grootte van de zwaartekracht kunnen we eenvoudig berekenen. De zwaartekracht is namelijk alleen afhankelijk van de massa van een voorwerp. Een zwaarder voorwerp ondervindt dus een grotere zwaartekracht. Voor het berekenen van de zwaartekracht gebruiken we de volgende formule:
$F_z = m \cdot g$

In deze formule staat F_z voor de zwaartekracht (in N), m voor de massa (in kg) en is g een constante. Deze constante g is gelijk aan 9,8 N/kg. Als de massa van een voorwerp bekend is, weet je dus ook hoe groot de, op dat voorwerp werkende, zwaartekracht is. Zoals je waarschijnlijk wel weet, werkt niet alleen op de aarde een zwaartekracht. Ook op andere planeten en de maan (zie figuur 4.13) geldt een zwaartekracht. Deze zwaartekracht is wel overal anders. De constante g is namelijk voor iedere planeet verschillend. Dit heeft alles te maken met de massa van de planeet. In tabel

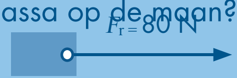
planeet / maan	g (N/kg)	F_z voor massa van 60 kg (N)
de maan	1,6	96
Mercurius	3,7	222
Venus	8,9	534
Mars	3,7	222
Jupiter	24,9	1.494
Saturnus	10,5	630

Tabel 4.2: Zwaartekracht op een aantal planeten en de maan..

Figuur 4.13: De maan.

47. Een flesje cola heeft een massa van 560 gram.
 a. Bereken de zwaartekracht die werkt op het flesje cola.
 Het flesje wordt verplaatst naar Mars.
 b. Bereken de zwaartekracht die er op het flesje werkt op Mars.

48. Zelf heb je natuurlijk ook een massa.
 a. Meet of schat hoe groot je massa is.
 b. Bereken de zwaartekracht die, hier op aarde, voortdurend op je werkt.
 c. Je maakt een ruimtereis naar de maan. Hoe groot is je massa op de maan?
 d. Bereken de zwaartekracht die op de maan op je werkt.



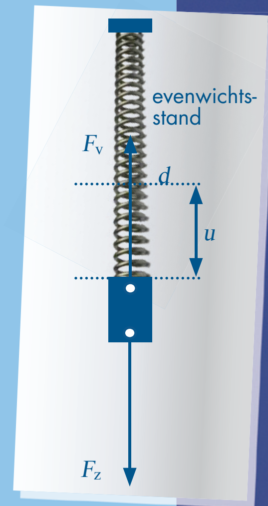
49. Je maakt een ritje in Space Shot. Zie figuur 4.14.
 a. Meet of schat hoe groot je massa is en bereken de zwaartekracht die, hier op aarde, op je werkt.
 b. Leg uit hoe groot de, op jou werkende, zwaartekracht is op het moment dat je in Space Shot gelanceerd wordt.
 c. Leg uit hoe groot de, op jou werkende, zwaartekracht is op het moment dat je in het hoogste punt een moment gewichtloos bent.

Figuur 4.14: Space Shot.

4.5 BIJZONDERE KRACHTEN: DE VEERKRACHT

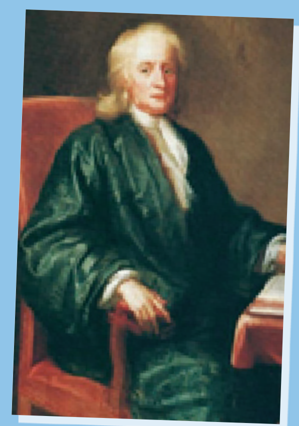
Figuur 4.15: Een veer.

Naast de zwaartekracht zijn er nog meer krachten die best eenvoudig zijn te berekenen. Eén van die krachten is de **veerkracht**. Deze kracht ontstaat als een veer (zie figuur 4.15) wordt uitgetrokken (voor trekveren) of wordt ingedrukt (voor drukveren).
Dat veren krachten kunnen uitoefenen op je heb je vast en zeker wel eens ervaren. Je hoeft je balpen maar uit elkaar te halen en je komt een klein veertje tegen. Je kunt dat veertje wat langer of korter maken. Je merkt dan dat het veertje je tegenwerkt. Maar niet alleen in balpennen worden veren gebruikt. Ook in bijvoorbeeld een auto zijn veren aangebracht. Dat rijdt wel zo prettig als je over allerlei drempels heen moet.
Als je een veertje pakt en je hangt er een massa aan, merk je dat het veertje wordt uitgetrokken. Schematisch is dit getekend in figuur 4.16. In deze tekening zijn ook de krachten getekend, die op de massa werken. Eén van die krachten is natuurlijk de zwaartekracht die op de massa werkt. Doordat de veer uitrekt, zal deze ook een kracht uitoefenen op de massa aan de veer. Deze kracht wordt de veerkracht genoemd. In figuur 4.16 hangt de massa stil aan de veer. Dit betekent dat de veerkracht die op de massa werkt even groot is als de zwaartekracht die op het blokje werkt. De krachten staan alleen in een tegengestelde richting en heffen elkaar dus op.



Figuur 4.16:
Krachten op een veer.

Door een kracht op een veer uit te oefenen wordt de veer dus langer of korter gemaakt. Je zult wel aanvoelen dat als je harder aan een veer trekt, deze ook verder uitgetrokken zal worden. Door Robert Hooke (1635 – 1703), zie figuur 4.17, is er onderzoek gedaan aan veren. Hij probeerde te ontdekken hoe de uitrekking van een veer verandert als je een grotere kracht op de veer uitoefent. Zijn ontdekkingen zijn samen te vatten in de volgende formule, die ook wel de wet van Hooke (of veerwet) wordt genoemd:



Figuur 4.17: Robert Hooke.

$F_z = C \cdot u$

In deze formule staat F_v voor de veerkracht (in N) en u voor de uitrekking (in m). De constante C wordt ook wel de veerconstante genoemd. Dat is een getal dat aangeeft hoe stug (of hoe slap) een bepaalde veer is. Een grote veerconstante betekent een heel stugge veer. De veerconstante C heeft als eenheid de 'Newton per meter (N/m)'. Deze geeft aan hoeveel Newton aan kracht je nodig hebt om de veer één meter uit te rekken.

Voorbeeld 4.5
Als een veer een veerconstante heeft van 100 N/m (100 Newton per meter), betekent dit dat de veer 1 meter uit zal rekken als er een kracht op de veer wordt uitgeoefend van 100 Newton.
Wordt er op veer slechts een kracht uitgeoefend van 50 N, dan zal deze ook maar een 0,5 meter uit rekken. Voor een uitrekking van 3 meter is dus een kracht nodig van 300 N.

Met de wet van Hooke kunnen allerlei berekeningen aan veren worden gedaan. In voorbeeld 4.6 worden twee van deze berekeningen uitgewerkt. Let in dit voorbeeld vooral goed op de manier waarop de opgaven worden aangepakt.

Voorbeeld 4.6
Op een veer wordt een kracht uitgeoefend van 50 N. De veer rekt hierdoor 8 cm uit. De veerconstante van de veer kan dan berekend worden. We schrijven daarvoor eerst de gegevens overzichtelijk op:

$F_v = 50$ N
$u = 8$ cm

We willen natuurlijk de wet van Hooke gaan gebruiken. Deze formule mag je echter alleen gebruiken als de waarden erin in de standaard-eenheid staan. Voor de kracht F is dat N en voor de uitrekking u is dat m. We rekenen daarom de gegevens om in de standaardeenheid:

$F_v = 50$ N
$u = 8$ cm $= 0{,}08$ m

Nu schrijven we de wet van Hooke op en vullen we de gegevens in:

$F_v = C \cdot u$
$50 = C \cdot 0{,}08$

De veerconstante kan nu berekend worden:

$$C = \frac{50}{0{,}08} = 625 \text{ N/m}$$

Op dezelfde veer kan ook een kracht worden uitgeoefend van 0,125 kN. De nieuwe uitrekking van de veer kan dan berekend worden. We noteren weer de gegevens en rekenen deze om in de standaardeenheid:

$F_v = 0{,}125$ kN $= 125$ N
$C = 625$ N/m

Bedenk hierbij dat de veerconstante hetzelfde blijft omdat het om dezelfde veer gaat. We schrijven de wet van Hooke weer op en vullen de gegevens weer in:

$F_v = C \cdot u$
$125 = 625 \cdot u$

De uitrekking kan nu berekend worden:

$$u = \frac{125}{625} = 0{,}2 \text{ m}$$

Los de opgaven uit deze paragraaf steeds op via de methode die ook gebruikt is in voorbeeld 4.6. Op deze manier zal het je bijna altijd makkelijk lukken om de uitkomst te vinden.

50. Een veer heeft een veerconstante van 80 N/m. De veer wordt 2 cm uitgerekt. Bereken de kracht die op de veer wordt uitgeoefend.

51. Aan een veer wordt een massa gehangen van 280 g. De veer rekt hierdoor uit over een afstand van 12 mm. Bereken de veerconstante van deze veer.

52. Een veer heeft een veerconstante van 12,5 N/cm. Aan de veer wordt een massa gehangen van 0,88 kg. Bereken de uitrekking van de veer. Geef de uitkomst in millimeter.

53. Aan een veer wordt een blokje gehangen, met een massa van 50 g. De veer rekt hierdoor 1,8 cm uit.
   a. Bereken de veerconstante van de veer.
   Nu worden er twee van deze veren naast elkaar gehangen. Er worden drie blokjes van 50 g aan beide veren gehangen.
   b. Bereken de uitrekking die iedere veer zal krijgen.

54. Een bepaald type veer wordt 15,5 cm uitgetrokken. Hier is een kracht voor nodig van 0,033 kN. Vervolgens worden drie van deze veren naast elkaar gehangen. De bedoeling is dat de veren ieder een uitrekking krijgen van 35 mm. Bereken de massa die daarvoor aan de veren gehangen moet worden.

4.6 KRACHT EN BEWEGING

In de voorgaande delen zijn allerlei krachten aan de orde geweest. We hebben gezien dat er allerlei soorten krachten zijn, zoals de zwaartekracht en de veerkracht. Ook hebben we gezien dat het optellen van krachten niet altijd even eenvoudig is. Een kracht heeft namelijk een grootte en een richting.

Als krachten bij elkaar worden opgeteld, ontstaat de zogenaamde resulterende kracht. Het was weer Isaac Newton die ontdekte wat het verband was tussen de resulterende kracht en de beweging.

Newton stelde vast dat als de resulterende kracht op een voorwerp gelijk is aan 0 N, dat een voorwerp dan stilstaat of dat het voorwerp dan beweegt met een constante snelheid. Het eerste, het voorwerp staat stil als de resulterende kracht gelijk is aan 0 N, zul je je vast en zeker voor kunnen stellen. Ook uit de informatie in paragraaf 4.3 kun je dat terug halen. De tweede vaststelling, een voorwerp beweegt met een constante snelheid als de resulterende kracht gelijk is aan 0 N, druist waarschijnlijk behoorlijk tegen je gevoel in. En toch is het zo! We zullen namelijk zien dat een bewegend voorwerp waarop wel een resulterende kracht werkt, zijn beweging gaat veranderen. Een voorwerp waarop een resulterende kracht van 0 N werkt, blijft bewegen zoals het altijd gedaan heeft. Er verandert niks aan de snelheid van de beweging en niks aan de richting van de beweging.

Als er op een voorwerp wel een resulterende kracht werkt, met andere woorden als de resulterende kracht niet gelijk is aan 0 N, zal de beweging van het voorwerp veranderen. Dit zal je waarschijnlijk allemaal erg vaag in de oren klinken, maar eigenlijk is het best logisch. Laten we het een en ander maar eens proberen te begrijpen via een ritje in Space Shot.

Voorbeeld 4.7

In de attractie Space Shot neem je plaats in een stoeltje dat bevestigd is aan een ring die rondom een hoge verticale paal is bevestigd.

Eerst neem je plaats in het stoeltje. Voordat je zometeen gelanceerd wordt, zit je een tijdje stil. Er werken dan twee krachten op je, de zwaartekracht F_z en de normaalkracht F_n. Omdat je nog stil zit, zijn deze twee krachten even groot. Omdat ze tegengesteld gericht zijn, is de resulterende kracht op dit moment gelijk aan 0 N. Zie figuur 4.18.

Op een gegeven ogenblik word je in Space Shot gelanceerd. Dit betekent dat de kracht die op je werkt recht omhoog (veel) groter zal worden. Dit is weergegeven in figuur 4.19. Tijdens de lancering is de zwaartekracht F_z gelijk aan de zwaartekracht op het moment dat je stil stond (figuur 4.18). De zwaartekracht hangt immers alleen af van de massa en die is natuurlijk niet veranderd. De normaalkracht F_n neemt echter sterk toe. Het gevolg hiervan is dat je versneld omhoog beweegt. Dit gebeurt zolang de normaalkracht groter is dan de zwaartekracht.

Figuur 4.18: In Space Shot zit je eerst stil.

Figuur 4.19: Lancering in Space Shot.

Als je in Space Shot op een gegeven moment je maximale snelheid omhoog hebt bereikt, werkt er nog maar één kracht. Dit is nog steeds de zwaartekracht F_z, die natuurlijk steeds op je werkt. Zie figuur 4.20. Het gaat misschien een beetje tegen je gevoel in dat er op weg omhoog geen kracht is die omhoog wijst. Maar probeer dan eens te bedenken welke kracht dat zou moeten zijn! Nee, op weg omhoog werkt alleen de zwaartekracht. Maar uit figuur 4.20 is wel op te maken dat de richting van deze zwaartekracht en de richting van de snelheid v tegengesteld zijn. We zouden dan kunnen zeggen dat de zwaartekracht de beweging (de snelheid) tegen werkt. Er is dan ook sprake van een vertraagde beweging.

Figuur 4.20: Vertraagde beweging omhoog.

55. Maak een ritje in de achtbaan Goliath. Zie figuur 4.21.
In het eerste deel van de baan wordt het treintje waar je in zit opgetrokken met een kabel. Dit optrekken gebeurt met een constante snelheid.
    a. Leg uit wat dit betekent voor de grootte van de kracht in de hijskabel.
Aangekomen op het hoogste punt van de baan zal het treintje al snel versneld naar beneden bewegen.
    b. Leg uit wat dit betekent voor de krachten die op je werken als je naar beneden beweegt.
Vervolgens beweeg je vanaf het laagste punt terug omhoog.
    c. Geef aan wat voor soort beweging je dan ondergaat.
    d. Leg uit wat deze beweging betekent voor de krachten die op je werken als je naar boven beweegt.

Figuur 4.21: Een deel van Goliath.

56. Maak een ritje in de achtbaan Speed of Sound. Zie figuur 4.22. In deze achtbaan leg je twee keer dezelfde baan af. Een keer vooruit en een keer achteruit.
Als je vooruit gaat, ga je een helling af.
    a. Wat voor soort beweging onderga je dan?
    b. Leg uit wat deze beweging betekent voor de krachten die op je werken als je van de helling af beweegt.
Als je achteruit gaat, ga je een helling op.
    c. Wat voor soort beweging onderga je dan?
    d. Leg uit wat deze beweging betekent voor de krachten die op je werken als je de helling op beweegt.

Figuur 4.22: Speed of Sound.

4.7 WRIJVING

Onderzoek aan bewegingen wordt al eeuwen en eeuwen gedaan. Bij dit onderzoek is het wel belangrijk dat je allerlei invloeden op een bepaalde beweging goed inziet. Alles wat de beweging mogelijk kan veranderen, moet je in de gaten hebben. Anders is goed onderzoek namelijk niet mogelijk.

In eerdere paragrafen zijn allerlei soorten bewegingen besproken en de krachten die deze bewegingen kunnen veroorzaken. Hierbij hebben we steeds, zonder dat je dat waarschijnlijk zelf in de gaten had, één kracht over het hoofd gezien. Deze kracht is de wrijvingskracht.

Als bewegingen onderzocht worden, is het van belang dat je alle krachten die werken goed begrijpt. De wrijvingskracht is een kracht die nogal moeilijk te doorgronden is. Om die reden proberen onderzoekers aan bewegingen de wrijvingskracht vaak zo ontzettend klein te maken dat hij verwaarloosbaar wordt.


Figuur 4.23: Schuifwrijving.

Maar wrijvingskrachten bestaan natuurlijk wel en zijn in te delen in drie soorten. Eerst is daar de zogenaamde schijfwrijving. Deze wrijvingskracht treedt op als twee voorwerpen over elkaar heen schuiven. Als je een zwaar boek over een tafel schuift of een slee door de sneeuw trekt (zie figuur 4.23), ervaar je de schuifwrijving als tegenwerkende kracht.

Een tweede soort wrijving is de zogenaamde rolwrijving. Dit soort wrijving treedt op als er sprake is van rollende voorwerpen. Op je fiets ervaar je dagelijks de invloed van rolwrijving. Je weet dan ook dat je met slappere banden harder moet trappen om vooruit te komen. Bij slappere banden is de rolwrijving wat groter geworden.

Misschien wel de belangrijkste vorm van wrijving is de luchtweerstand. Dit is ook precies het soort wrijving dat het moeilijkst onder controle te krijgen is. Daar waar je de rolwrijving nog wel redelijk kan beperken, heb je op de luchtweerstand veel minder invloed.

Luchtweerstand treedt vooral op als er sprake is van hoge snelheid. In figuur 4.24 is een formule-1 auto weergegeven. Op de foto valt op dat deze erg dikke banden heeft. Dit betekent dat een formule-1 auto een grote rolwrijving zal ondervinden. Eigenlijk is dit ook wel handig want de auto heeft natuurlijk veel grip nodig, anders vliegt hij uit de bocht. Bij de hoge snelheden van een formule-1 auto is er vooral sprake van luchtweerstand. Om de snelheid van de auto zo hoog mogelijk te laten zijn, heeft de auto een erg vreemde vorm gekregen. Zo kan de luchtwrijving toch redelijk beperkt worden bij de hoge snelheden van de auto.


Figuur 4.24: De wrijving bij een formule-1 auto moet zo klein mogelijk zijn.

57. In figuur 4.25 is een gedeelte weergegeven van de baan van Goliath.
Welke vorm(en) van wrijving is/zijn het belangrijkst bij Goliath?

58. In figuur 4.26 is een gedeelte weergegeven van Space Shot.
Welke vorm(en) van wrijving is/zijn het belangrijkst in Space Shot?

59. In figuur 4.27 is de zweefmolen Super Swing weergegeven.
Welke vorm(en) van wrijving is/zijn het belangrijkst in Super Swing?


Figuur 4.25: Goliath.


Figuur 4.26: Space Shot.


Figuur 4.27: Super Swing.

4.8 G-KRACHT

Je hebt vast en zeker weleens een wetenschappelijk programma gezien over het ontwerpen en bouwen van achtbanen. Je kunt dan gemerkt hebben dat er een term is die voortdurend gebruikt wordt: het begrip **G-kracht**. Maar wat is een G-kracht eigenlijk? En hoe wordt hij vastgesteld? Twee best ingewikkelde vragen die we in deze paragraaf kort zullen proberen te beantwoorden.

Om dan maar meteen met de deur in huis te vallen: de G-kracht is helemaal geen kracht. In dit hoofdstuk heb je uitgebreid kunnen lezen wat krachten zijn, dat ze worden uitgedrukt in de eenheid Newton, dat er allerlei soorten krachten bestaan en dat de werking van krachten tot gevolg kan hebben dat voorwerpen versneld of vertraagd worden. Je hebt geleerd dat we bijvoorbeeld de zwaartekracht kennen, de veerkracht, de wrijvingskracht en de normaalkracht. In dit rijtje hoort de G-kracht echter helemaal niet thuis.

Maar wat is de G-kracht dan wel? Nou, eigenlijk is dat best eenvoudig. Men heeft namelijk afgesproken dat de G-kracht de verhouding is tussen de normaalkracht en de zwaartekracht. Omdat we in de natuurkunde altijd proberen om zaken zo kort en eenvoudig mogelijk te noteren, maken we van deze afspraak een formule. Deze luidt:

$$\text{G-kracht} = \frac{F_n}{F_z}$$

In deze formule staat F_n voor de normaalkracht (in N) en F_z voor de zwaartekracht (ook in N). Omdat er in deze formule twee krachten op elkaar worden gedeeld, zal de G-kracht zelf geen eenheid hebben. De G-kracht geeft dus eigenlijk alleen maar aan hoe veel keer de normaalkracht F_n groter is dan de zwaartekracht F_z. Allemaal best ingewikkeld. Laten we het een en ander dus maar eens nader bekijken in voorbeeld 4.8 aan de hand van nog een ritje in Space Shot.

Figuur 4.28: lancering in Space Shot.

Voorbeeld 4.8

Op het moment dat je in Space Shot gelanceerd wordt, werken er twee krachten op je: de zwaartekracht F_z en de normaalkracht F_n. Zie figuur 4.28. Dit hebben we ook al gezien in paragraaf 4.6. De normaalkracht is daarbij groter dan de zwaartekracht omdat er immers een resulterende kracht moet zijn, die omhoog gericht is (anders word je niet gelanceerd).

In Space Shot ervaar je, tijdens de lancering, een G-kracht van ongeveer 4. Dit betekent dat de normaalkracht op het moment van lancering 4 keer zo groot is als de zwaartekracht.

Maar er is meer aan de hand. Op het moment dat je gelanceerd wordt in Space Shot ervaar je ook dat je zwaarder wordt. Laat dat nou alles met de G-kracht te maken hebben. De normaalkracht is de kracht die het stoeltje waar je op zit uitoefent op jou als passagier. Maar jijzelf oefent ook een kracht uit op je stoeltje (je zit er immers op). Deze kracht heeft ook een naam gekregen en heet het **gewicht** (of de **gewichtskracht**). Het gewicht en de normaalkracht zijn aan elkaar gekoppeld. Dat wil zeggen dat het gewicht groter wordt als de normaalkracht ook groter wordt. Hoe 'zwaar' je jezelf voelt, hangt dus af van het gewicht.

Op het moment van lancering in Space Shot wordt de normaalkracht dus groter en zal je gewicht vanzelf ook toenemen. Het gevolg dat je jezelf een moment zwaarder voelt worden.

De gevolgen van G-krachten kunnen groot zijn. Het lang onder invloed zijn van G-krachten is niet gezond. Om je enige indruk te geven welke verschijnselen er zoal op kunnen treden bij de werking van een G-kracht is tabel 4.3 opgenomen. In deze tabel gaat het steeds om verticaal werkende krachten en versnellingen.

G-kracht	Optredende verschijnselen
2,5	Opstaan is erg moeilijk
3 tot 4	Het is niet meer mogelijk om op te staan, na ongeveer 3 s vervaagt het zicht.
6	Zonder training of anti-G pak (zie figuur 4.29) zul je na ongeveer 5 s bewusteloos raken.

Figuur 4.29: Anti-G pak.

Figuur 4.30: In G-Force draai je verticaal rond.

60. In G-Force draai je op een gegeven ogenblik verticale rondjes. Zie figuur 4.30.
In het laagste punt van de baan ervaar je een G-kracht van 2,4. We gaan uit van een massa van 60 kg.
a. Bereken de grootte van de zwaartekracht.
b. Bereken de grootte van de normaalkracht.
c. Hoe groot is het gewicht?
In het hoogste punt van de baan is er ook een G-kracht. Deze bedraagt 0,4.
d. Bereken weer de grootte van de normaalkracht.
e. Hoe groot is het gewicht in het hoogste punt?

f. Als je in het hoogste punt van de baan 'op zijn kop' hangt, val je toch niet uit de gondel. Leg dit uit aan de hand van de voorgaande twee vragen.

61. Maak een ritje in de achtbaan Goliath. In deze achtbaan ga je een aantal keer over een bult heen. Op het hoogste punt kom je dan een moment los van je stoeltje.

a. Leg uit hoe groot de G-kracht op dat moment is.
b. In welk deel van Goliath ervaar je de grootste G-kracht?

Nou, als het goed is hebben de afgelopen lessen je iets geleerd over natuurkunde. Hopelijk heb je zelf ervaren dat natuurkunde echt heel leuk is, ondanks dat het soms best moeilijk te begrijpen is. Krachten zijn dus altijd aanwezig en je kan er altijd leuke dingen mee doen.

VEEL PLEZIER!

WALIBI HOLLAND