Blok 6

INHOUD

LEERDOELEN

1 Je moet weten dat de versnelling van een voorwerp gelijk is aan de snelheidsverandering per seconde. [T1, W1]

2 Je moet snelheid-tijd- en afstand-tijdgrafieken van verschillende bewegingen begrijpen. [P1, T1, W1]

3 Je moet weten wat een eenparig versnelde beweging is en de formules

$$s = v_{gem} \cdot \Delta t \text{ en } v_{gem} = \frac{1}{2}\ (v_e + v_b)$$

kunnen toepassen [P1, T1, W1]

4 Je moet weten dat de snelheidsverandering per seconde constant 9,8 m/s^2 is bij de vrije val, de valbeweging zonder wrijving. [T2, W2]

5 Je moet met een tijdtikkerstrook de valversnelling kunnen bepalen. [P2, T2, W2]

Optrekken en afremmen

6 Je moet voor een eenparig versnelde beweging de formule

$$s = \frac{1}{2}\ a{\cdot}\Delta t^2,$$

en voor de valbeweging de formule

$$s = \frac{1}{2}\ g{\cdot}\Delta t^2$$

kunnen toepassen. [T2, W2]

7 Je moet weten dat de resulterende kracht de som is van twee of meer krachten. [P3, T3, W3]

8 Je moet weten dat een voorwerp in rust blijft òf met een constante snelheid voortbeweegt, als de resulterende kracht 0 N is. [P3, T3, W3]

9 Je moet weten dat een voorwerp een positieve of negatieve versnelling krijgt als de resulterende kracht *niet* 0 N is. [P3, T3, W3]

10 Je moet de formules $F{\cdot}\Delta t = m{\cdot}\Delta v$ en $F = m{\cdot}a$ begrijpen en kunnen toepassen. Je moet ook weten hoe deze formules met de luchtkussenbaan gecontroleerd kunnen worden. [P3, T3, W3]

11 Je moet weten dat bij de valbeweging in lucht de wrijvingskracht groter wordt als de snelheid groter wordt. [T3, W3]

12 Je moet weten hoe de remweg van een fiets of auto afhangt van:
- de beginsnelheid,
- de massa,
- de totale remkracht. [P4, T4, W4]

13 Je moet weten welke krachten de totale remkracht bepalen die op een fiets of auto werken tijdens het afremmen. [P4, T4, W4]

14 Je moet weten dat bij een zeer korte remweg de remkracht zeer groot kan zijn. [P4, T4, W4]

15 Je moet weten wat het effect van maximumsnelheid, valhelm, kreukzone, veiligheidsriem, botsballon (airbag) en vangrail is voor de verkeersveiligheid. Je moet die effecten ook natuurkundig kunnen verklaren [P4, T4, W4]

T0 Herhaling

Hier volgt een herhaling van kennis uit de blokken 4 'Snelheid en verkeer' en 6 'Krachten' van 1mhv, die je moet beheersen voordat je aan dit blok begint.

Grootheden en eenheden

In de tabel van figuur 1 worden de belangrijkste grootheden en eenheden nog eens op een rijtje gezet.

FIG. 1 De belangrijkste grootheden en eenheden bij optrekken en afremmen.

grootheid	afkorting	eenheid
snelheid	v	m/s, km/u
gemiddelde snelheid	v_{gem}	m/s, km/u
afstand	s	m, km
tijd	t	s, u
kracht	F	N
gewicht	G	N
massa	m	kg

Snelheid

De formule voor de gemiddelde snelheid luidt:

$$v_{gem} = \frac{s}{t} \quad \text{of: } s = v_{gem} \cdot t \quad \text{of: } t = \frac{s}{v_{gem}}$$

VOORBEELD: Je fietst de afstand van 6 km tussen school en huis in 20 minuten. Je gemiddelde snelheid is:

$$v_{gem} = 6 : \frac{1}{3} = 18 \text{ km/u}$$

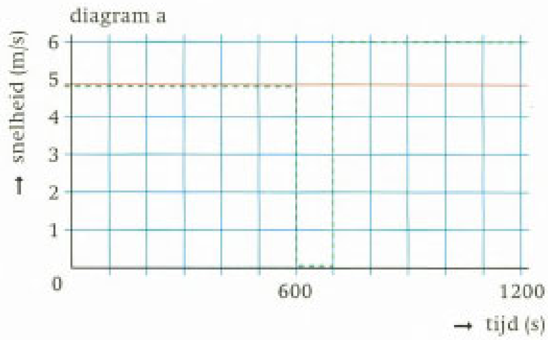
Er staat 'gemiddelde snelheid' omdat je niet altijd even snel fietst. Je kunt de snelheid ook in meters per seconde berekenen:

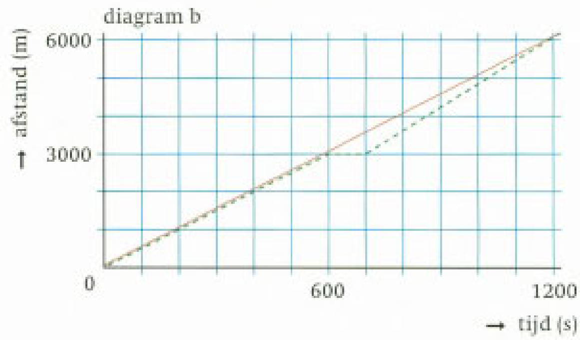
$$v_{gem} = 6000 : (20 \times 60) = 5 \text{ m/s}$$

Omrekenen van km/u naar m/s en omgekeerd:

$$1 \text{ km/u} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s en } 1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/u}$$

FIG. 2 Van je fietstocht van huis naar school staan hier een snelheid-tijddiagram (a) en een afstand-tijddiagram (b).





Diagrammen

Met gemiddeld 5 m/s fiets je in 20 minuten = 1200 s de 6 km = 6000 m. In figuur 2 zie je het verloop van de snelheid en de afstand in de loop van de tijd. De getrokken lijn geeft de gemiddelde snelheid. In werkelijkheid ben je halverwege gestopt voor een spoorwegovergang en bent daarna harder gaan fietsen. Dit kun je zien aan de gestippelde lijn.

Evenredigheid

Je wandelt met een snelheid van 5 km/u. Hoe langer je wandelt, des te groter de afgelegde afstand. Twee maal zo lang wandelen betekent een twee maal zo grote afstand. Tijd en afstand zijn *recht evenredig*. Het afstand-tijddiagram is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 3).

FIG. 3 Tijd en afstand zijn recht evenredig.

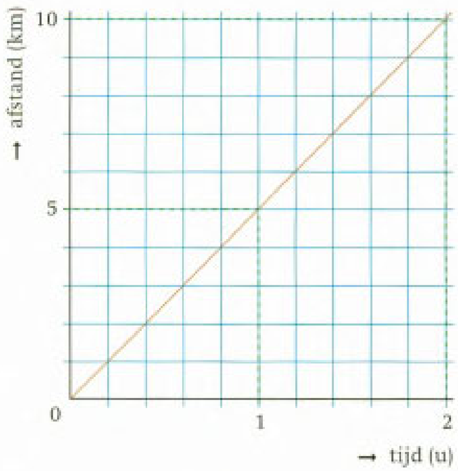
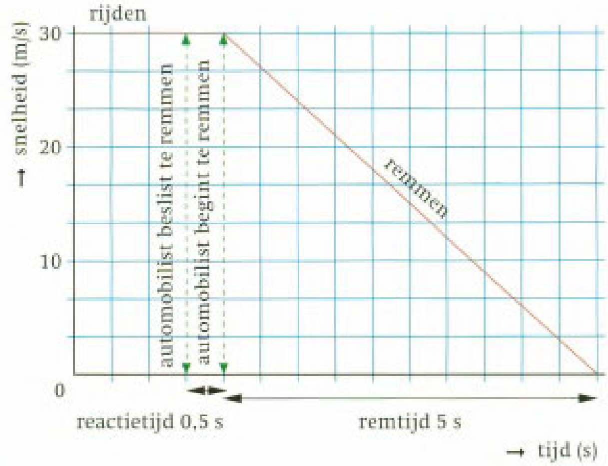


FIG. 5 De stopafstand van een auto is de afstand gereden tijdens de reactietijd plus de remweg.

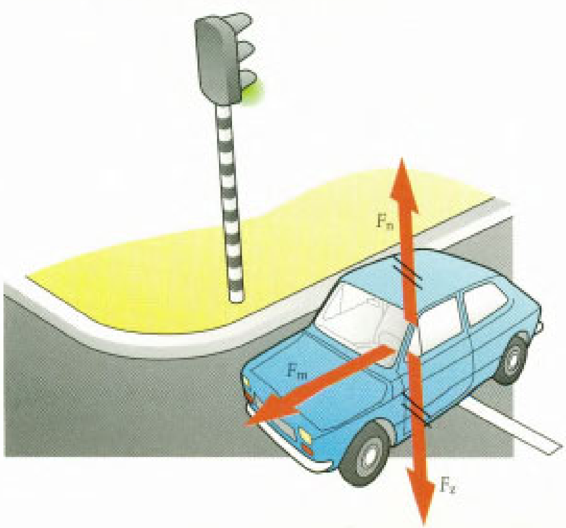


Kracht, snelheid en remweg

In figuur 4 is een auto weergegeven, die juist wegrijdt. Er werken drie krachten. De *zwaartekracht* (F_z) en de *normaalkracht* (F_n) zijn gelijk en tegengesteld. Deze krachten heffen elkaar op. De *motorkracht* F_m zorgt ervoor dat de auto steeds harder gaat rijden. Door een kracht neemt de snelheid toe.

Als een auto remt zorgt de tegenwerkende *remkracht* ervoor dat de auto tot stilstand komt. Hoe groter F_{rem}, des te korter de remtijd, des te korter ook de remweg.

FIG. 4 De auto rijdt weg bij het stoplicht.



De remweg kun je als volgt berekenen:

$$\text{remweg} = \frac{1}{2} \times \text{beginsnelheid} \times \text{remtijd}$$

De *beginsnelheid* is de snelheid waarmee je rijdt als het remmen begint.
Ook als je de motorkracht uitschakelt en niet remt, kom je tenslotte tot stilstand. Dat komt door de *wrijvingskracht* (F_w), vooral door wrijving met de lucht. Denk maar aan tegenwind.

Er verstrijkt een korte tijd nadat je besluit te remmen. Vóór je begint te remmen verstrijkt de *reactietijd*. Gedurende die korte periode rijd je met de beginsnelheid door.

De *stopafstand* is de afstand die je rijdt tijdens de reactietijd plus de remweg. Neem als voorbeeld figuur 5.

$$\text{stopafstand} = v_{begin} \cdot t_{reactie} + \text{remweg}$$

$$\text{stopafstand} = v_{begin} \cdot t_{reactie} + \frac{1}{2} \cdot v_{begin} \cdot t_{rem}$$

$$\text{stopafstand} = 30 \times 0{,}5 + \frac{1}{2} \times 30 \times 5 = 90 \text{ m}$$

W0

1 Reken om:
a 100 km/u in m/s;
b 2 m/s in km/u.

2 Iemand laat z'n hond uit en loopt een blokje om met een snelheid van 3 km/u. Het blokje om is 800 m lang. Hoe lang blijft hij weg?

3 Je fietst in 5 minuten naar huis met een snelheid van 18 km/u.
a Hoe groot is de afstand van huis naar school?
b Teken de snelheid-tijdgrafiek van dit ritje.
c Teken de afstand-tijdgrafiek van dit ritje.

4 Een fietser fietst door een korte straat met een snelheid van 20 km/u. Hij rijdt 10 seconden en moet dan remmen voor een stoplicht aan het eind van de straat. Hij komt in 3 seconden tot stilstand.
a Teken het snelheid-tijddiagram van deze rit.
b Bereken hoe lang de straat is.

T1 Snel en nog sneller

Bewegingen sorteren

Hier zijn een stel bewegingen opgesomd:

- een vliegtuig op de startbaan v
- een auto op een rustige snelweg c
- een wandelaar c
- een vallende bal v
- een startende sprinter v
- een verkeersvliegtuig boven de oceaan c
- een dravend paard c
- een vogel die opvliegt v
- een trein in de buurt van het station v
- een auto die een rood stoplicht nadert v
- een trein ergens in de polder c

Je kunt deze bewegingen indelen in twee groepen. De ene groep, er staat een c bij, bestaat uit bewegingen met *constante snelheid*. Bij de andere groep, die met een v, verandert de snelheid. De snelheid neemt toe òf neemt af. We noemen het *versnelde* en *vertraagde bewegingen*.

FIG. 6 Een wedstrijdje tussen een fietser en een hardloper.

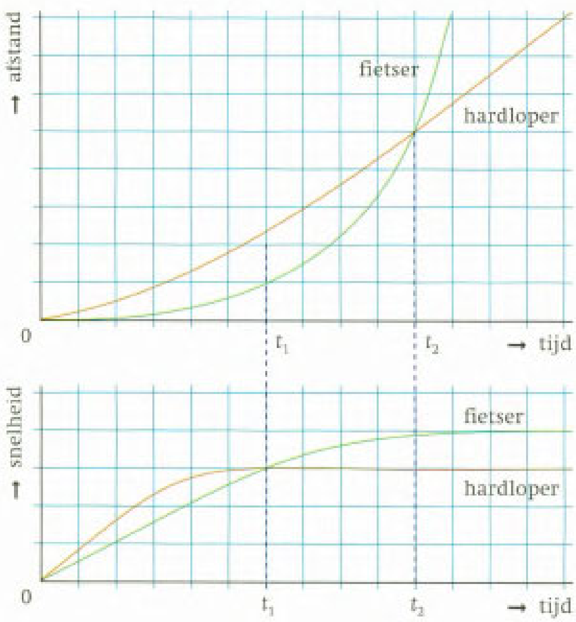
Een wedstrijd

Een fietser en een hardloper houden een wedstrijd (figuur 6). Fietsers gaan op den duur sneller dan hardlopers, maar in het begin zal de hardloper voor liggen. In figuur 7 zie je hoe de snelheden van fietser en hardloper toenemen, tot ze niet sneller meer kunnen. Op het tijdstip t_1 gaan beiden even snel, maar de fietser ligt nog achter. Na het verstrijken van t_2 seconden haalt de fietser de hardloper in.

Versnelling

De snelheid van een startende 100 m-loper (figuur 8) neemt heel snel toe. In 3 s bereikt hij een snelheid van 10 m/s (figuur 9). Iedere seconde neemt zijn snelheid toe met 10 : 3 = 3,3 m/s. We zeggen:

FIG. 7 Op het tijdstip t_1 gaan de fietser en de hardloper even snel, maar de hardloper ligt nog voor.



De *versnelling* per seconde is 3,3 meter per seconde ofwel, de versnelling = 3,3 m/s^2 (spreek uit: meter per seconde-kwadraat).

Dit is een nieuwe grootheid: de versnelling a, eenheid: m/s^2

FIG. 8 De start van de 100 m sprint.

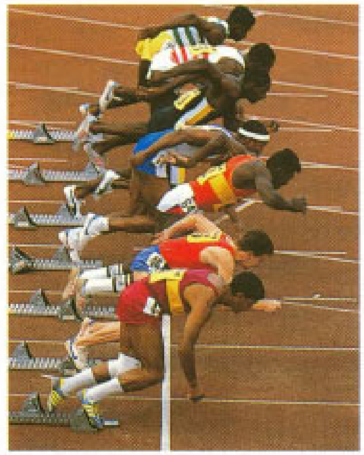
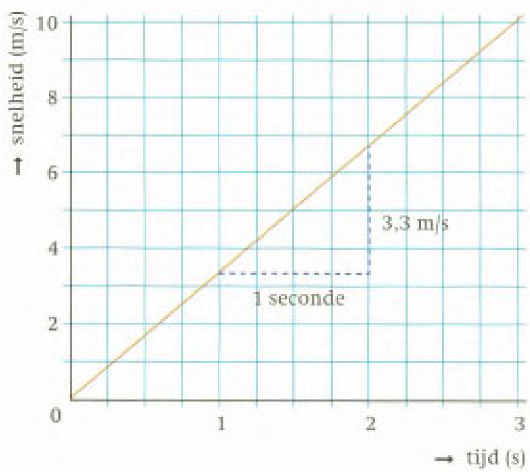


FIG. 9 Het snelheid-tijddiagram van figuur 8.



We hebben de versnelling dus uitgerekend door de snelheidstoename te delen door de tijdsduur:

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

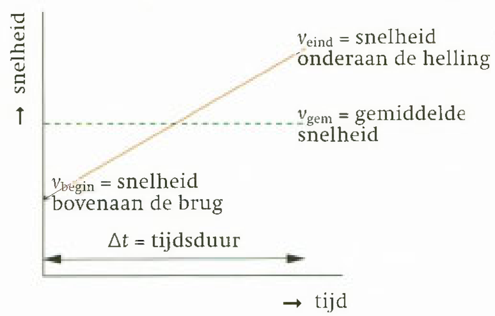
Het voorvoegsel Δ (spreek uit: delta) betekent: toename van, afname van of verandering van.
t = tijd*stip* (denk aan het Engelse 3 o'clock);
Δt = tijds*duur* (denk aan het Engelse 3 hours);
v = snelheid;
Δv = verandering van de snelheid: snelheidstoename òf snelheidsafname.

Een beweging met een *constante versnelling* noemt men een *eenparig versnelde beweging*. De toevoeging 'eenparig' wil zeggen dat de snelheid per tijdseenheid steeds met hetzelfde bedrag toeneemt.

Afstand bij eenparig versnelde bewegingen

Een jongen fietst van een hoge brug. Bovenop de brug is zijn snelheid laag, maar op de lange helling krijgt hij steeds meer vaart. Figuur 10 toont de verandering van de snelheid in de loop van de tijd.

FIG. 10 Een fietser rijdt steeds harder van een brug.



De afstand die de jongen fietst in een tijdsduur Δt kun je uitrekenen met:

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

De gemiddelde snelheid is hierbij:

$$v_{gem} = \frac{1}{2}(v_b + v_e)$$

VOORBEELD: Een auto bereikt vanuit stilstand in 8 seconden een snelheid van 90 km per uur. Hoe groot is de versnelling en welke afstand rijdt de auto in deze 8 seconden?
ANTWOORD: Het gaat over een uit stilstand wegrijdende auto, dus $v_b = 0$ m/s.
Na 8 seconden is de eindsnelheid:

$$v_e = 90 \text{ km/uur} = 90 : 3{,}6 \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$$

De versnelling is de snelheidstoename gedeeld door de tijdsduur:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 25 : 8 = 3{,}1 \text{ m/s}^2$$

De gemiddelde snelheid bereken je uit de begin- en eindsnelheid:

$$v_{gem} = \frac{1}{2}(v_b + v_e) = \frac{1}{2}(0 + 25) = 12{,}5 \text{ m/s}$$

De auto heeft dus een afstand afgelegd van:

$$s = v_{gem} \cdot \Delta t = 12{,}5 \times 8 = 100 \text{ m}$$

W1

1 **a** Een auto rijdt met constante snelheid. Met welke formule bereken je de afstand die de auto rijdt?
b Een steen valt. Wat is de beginsnelheid?
c Met welke formule bereken je de snelheid van de steen na een paar seconden?

2 **a** Hoe luidt de definitie van de versnelling?
b Bij een stoplicht rijden een motor en een vrachtwagen weg. Teken een snelheid-tijdgrafiek van beide bewegingen in één diagram.
c Hoe kun je in het diagram zien dat de motor een grotere versnelling heeft?
d De motor heeft geen constante versnelling. Leg dat uit.

3 **a** Op de fietspedalen staand bereik jij in 7 seconden een snelheid van 20 km/uur. Bereken je versnelling.
b Bereken hoeveel meter je in deze tijd hebt gereden.

4 Op de snelweg passeert een auto een vrachtwagen. Tijdens het passeren versnelt de auto van 100 km/u naar 120 km/u. Het passeren duurt 12 seconden.
a Bereken hoeveel meter de auto in deze periode rijdt.
De vrachtauto rijdt met een snelheid van 90 km/u.
b Hoeveel meter rijdt de auto tijdens het passeren meer dan de vrachtauto?

5 Een ongeluk.
Op de snelweg rijdt een auto met een snelheid van 110 km/u. Plotseling rijdt deze auto een mistbank in. De automobilist besluit vaart te minderen. Hij remt met een vertraging 3 m/s^2. Na 6 seconden botst hij op andere auto's die stilstaan ten gevolge van een kettingbotsing.
a Hoe groot is de snelheid van deze auto op dat moment?
b Hoe had de automobilist het ongeluk kunnen voorkomen? Noem twee manieren.

BLOK 6 BASISSTOF

T2 De valbeweging

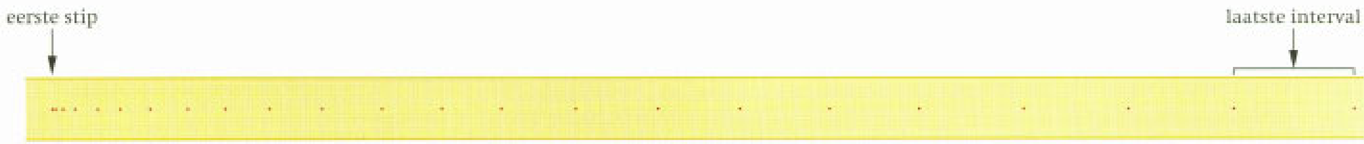


FIG. 11 De tijdtikkerstrook gemaakt tijdens een valbeweging (schaal 1 : 5).

De valversnelling *g*

Alle voorwerpen die ongehinderd vallen, ondervinden dezelfde versnelling van 9,8 m/s^2. We noemen dit de *valversnelling* of *gravitatieversnelling g*.
Hoe groot de valversnelling ongeveer is, kun je vaststellen met een tijdtikker. Eigenlijk wordt dan altijd een te klein getal gevonden, omdat de val afgeremd wordt door de beweging van de papierstrook door de tijdtikker.
Alleen als de wrijving met de lucht te verwaarlozen is, is de valversnelling 9,8 m/s^2. Dan spreek je van een 'vrije val'. Zo zal een plukje watten in het luchtledige net zo snel vallen als een baksteen. Beide voorwerpen worden dan niet geremd door de wrijving met de lucht.

Op de volgende manier kun je de versnelling met de tijdtikkerstrook vaststellen (figuur 11). De tijdtikker zet 50 stippen per seconde. Tussen twee stippen verstrijkt dus 0,02 s.
De beginsnelheid v_b = 0 m/s.
De snelheid aan het eind van de strook is:
v_e = (afstand laatste interval : 0,02) m/s
Tussen het zetten van de eerste en de laatste stippen tel je ..... intervallen. Dit komt overeen met ..... × 0,02 s.
Δt = ... s
De versnelling is:

$$a = \frac{v_e - v_b}{\Delta t} = \text{.....} \text{ m/s}^2$$

DE VALVERSNELLING OP VERSCHILLENDE PLAATSEN

Er zijn vele manieren om de gravitatieversnelling nauwkeuriger te bepalen dan met de tijdtikker. Zo kan deze versnelling nauwkeurig worden vastgesteld met een lange slinger.
Bij nauwkeurige meting blijkt dat de waarde van *g* van plaats tot plaats verschilt. Op aarde is *g* gemiddeld 9,8 m/s^2.
Een paar verschillende waarden van *g* zijn:

op de Noordpool	9,832 m/s^2
in Nederland	9,811 m/s^2
op de evenaar	9,78 m/s^2
op de maan	1,62 m/s^2
op planeet Mars	3,74 m/s^2

Grafieken en afstanden

Bij een *eenparig* versnelde beweging neemt de snelheid iedere seconde met evenveel meter per seconde toe.
De snelheid-tijdgrafiek is dan een rechte lijn (figuur 12).

De afstand die een eenparig versneld voorwerp aflegt, kun je op twee manieren uitrekenen, gebruik makend van de formules:

1 $s = v_{gem} \cdot \Delta t$

2 $s = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2$

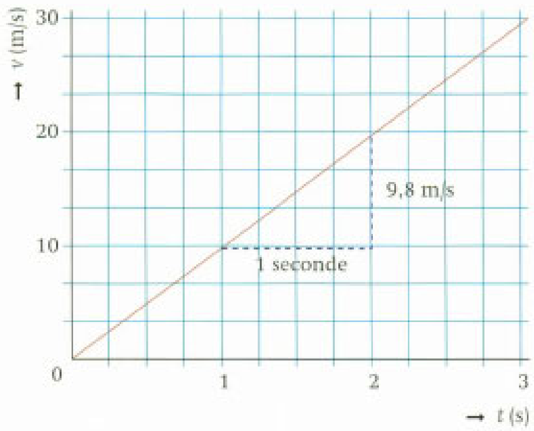


FIG. 12 De snelheid van een vallende steen neemt (bij verwaarloosbare luchtwrijving) iedere seconde met 9,8 m/s toe. Na 3 seconden vallen is de snelheid van de steen dus: 3 × 9,8 m/s = 29,4 m/s.

We rekenen nu op beide manieren uit hoe ver de steen van figuur 12 na 3 seconden is gevallen.

VOORBEELD 1:

$$v_{gem} = \frac{1}{2}(29{,}4 + 0) = 14{,}7 \text{ m/s}$$

$$s = v_{gem} \cdot \Delta t = 14{,}7 \times 3 = 44{,}1 \text{ m}$$

VOORBEELD 2:

$$s = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times 3^2 = 44{,}1 \text{ m}$$

DE SAMENHANG TUSSEN BEIDE FORMULES

Beide formules zijn uit elkaar af te leiden:

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

Als de beginsnelheid 0 m/s is, is de gemiddelde snelheid de helft van de eindsnelheid, dus:

$$s = \frac{1}{2} v_e \cdot \Delta t$$

Iedere seconde neemt de snelheid met *a* m/s toe. De eindsnelheid kan dus als volgt berekend worden:

$$v_e = a \cdot \Delta t$$

Als je deze twee formules combineert staat er:

$$s = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t) \cdot (\Delta t) = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2$$

VOORBEELD: Je rijdt op de fiets uit school en bereikt na 4 s een snelheid van 16 km/u. Met deze snelheid rijdt je 20 s door tot je de bakker passeert. Hoe ver is de bakker van school?
ANTWOORD: Dit korte ritje bestaat uit een versneld deel 1 en een deel 2 waarbij je met constante snelheid rijdt. Deze twee delen moet je optellen.

1. De eerste 4 seconden rijd je gemiddeld met:
   $v_{gem} = 16 : 2 = 8$ km/u $= (8 : 3{,}6)$ m/s

   Je rijdt dus:
   $s = v_{gem} \cdot \Delta t = (8 : 3{,}6) \times 4 = 9$ m

2. Nu rijd je met constante snelheid:
   $s = v \cdot \Delta t = (16 : 3{,}6) \times 20 = 89$ m
   De afstand van de school tot de bakker is dus 89 + 9 = 98 m.

ALLE INFORMATIE BIJ ELKAAR

snelheid v	m/s
gemiddelde snelheid v_{gem}	m/s
snelheidsverandering Δv	m/s
tijdsduur Δt	s
versnelling a	m/s^2
valversnelling g	m/s^2
afstand s	m

Leer de volgende formules niet uit je hoofd. Bedenk wat ze betekenen:

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

$$a = \frac{v_e - v_b}{\Delta t}$$

$$v_{gem} = \frac{1}{2}(v_e + v_b)$$

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

$$s = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2$$

Als er geen beginsnelheid is:

$$a = \frac{v_e}{\Delta t}$$

Dus:

$$v_e = a \cdot \Delta t$$

Bij het oplossen van problemen over een valbeweging:

$$v_e = g \cdot \Delta t$$

$$s = \frac{1}{2} g \cdot (\Delta t)^2$$

W2

In de volgende opgaven mag de luchtwrijving steeds verwaarloosd worden. Voor de valversnelling geldt: $g = 9{,}8\ m/s^2$.

1 Welke twee grootheden worden gemeten op een tijdtikkerstrook?

2 Deze opgave lijkt heel veel op het voorbeeld van de bakker in T2. Een auto rijdt weg bij een stoplicht en bereikt in 5 seconden een snelheid van 45 km/u. Na nog eens 12 seconden passeert de auto het volgende stoplicht. Hoe ver liggen de stoplichten van elkaar?

3 Vanaf een flat wordt op 45 meter hoogte een pakje losgelaten.
a Bereken de valtijd.
b Bereken de snelheid waarmee het pakje de grond treft.

4 Je laat een steen vallen in een diepe put. Je hoort de steen na 3,1 seconden neerkomen op de bodem van de put.
a Bereken hoe diep de put is.
Eigenlijk klopt je antwoord niet. Het geluid van de val komt met een snelheid van 340 m/s naar boven en dat kost enige tijd.
b Is de werkelijke diepte groter of kleiner? Leg uit.
c Bereken de werkelijke diepte (*Aanwijzing:* noem de valtijd t_1 en de tijd voor het geluid t_2. Er geldt dan: $t_1 + t_2 = 3{,}1$ seconden.)

5 Een astronaut bepaalt de valversnelling op de maan. Hij laat een voorwerp vallen vanaf een hoogte van 3,2 meter. Met behulp van een filmcamera legt hij elke halve seconde de afstand tot de maanbodem vast (figuur 13).

FIG. 13 De metingen van de astronaut.

tijd (s)	Δs (m)	hoogte (m)	gemiddelde snelheid (m/s)
0	0	3,2	
0,5	0,2	3,0	.....
1,0	0,8	2,4	.....
1,5	1,8	1,4	.....
2,0	3,2	0	.....
			.....

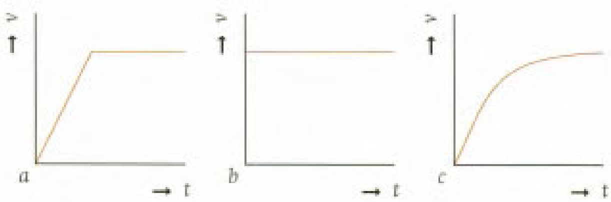
a Neem de tabel van figuur 13 over en bereken de gemiddelde snelheid voor ieder interval.
b Bereken hieruit de valversnelling op de maan.

6 Vanaf het dak van een flat valt een zware hamer naar beneden. Het duurt 6,0 seconden voordat de hamer op de grond terechtkomt.
a Bereken de valhoogte.
b Maak het (v,t)-diagram van deze beweging.

7 Van de beweging van een vallende bal maak je een (v,t)-diagram. In figuur 14 zie je drie (v,t)-diagrammen. Welk diagram is het juiste? Licht je antwoord toe.

8 Een voorwerp valt van een hoogte van 80 m.
a Bereken voor iedere seconde hoeveel meter het voorwerp heeft afgelegd. Noteer de gegevens in een tabel.
b Maak hiervan een afstand-tijddiagram. Zet t horizontaal uit en s verticaal. Let op: de grafiek moet een vloeiende lijn worden!

FIG. 14 Welk diagram is het juiste?



BLOK 6 BASISSTOF

T3 Krachten en snelheden

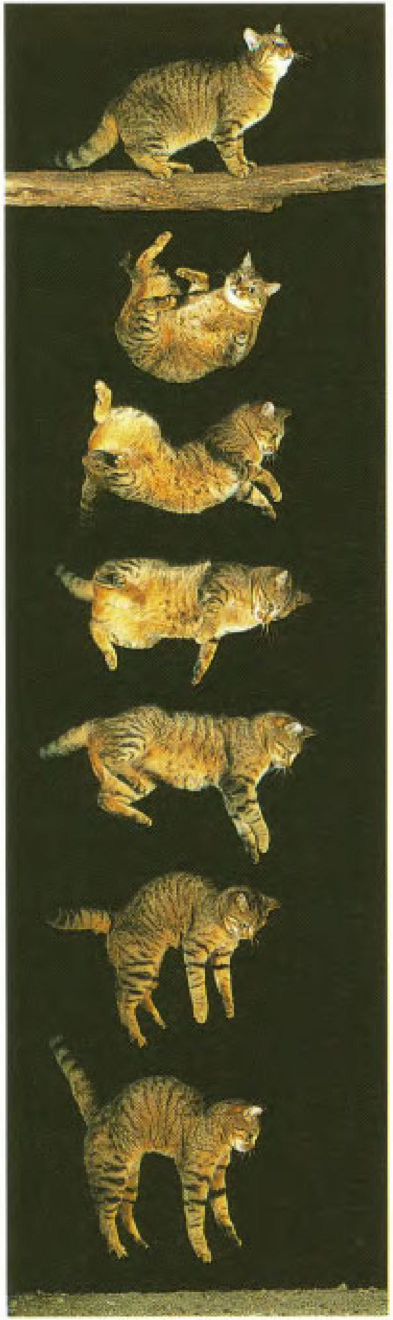
Door een kracht kan de snelheid van een voorwerp veranderen. Hierna volgen vier foto's waarop dit te zien is (figuur 15 tot en met 18). Bekijk ze goed en lees de onderschriften aandachtig.

FIG. 15 De sprinter zet zich af tegen het startblok om op snelheid te komen. Het startblok duwt hem als het ware naar voren.

FIG. 16 De kracht waarmee deze auto door een boom werd afgeremd was zo groot, dat de voorkant van de auto in elkaar is gekreukt.

FIG. 17 De tennisster oefent een kracht uit op de bal zodat deze met grote snelheid wegvliegt.

FIG. 18 Door de zwaartekracht valt de kat steeds sneller.



Lang niet altijd verandert de snelheid als er een kracht werkt. In de figuren 19 en 20 zie je twee voorbeelden.

FIG. 19 Behalve de zwaartekracht F_z is er de draagkracht (of normaalkracht F_n) van de tafel. De twee krachten zijn in evenwicht.

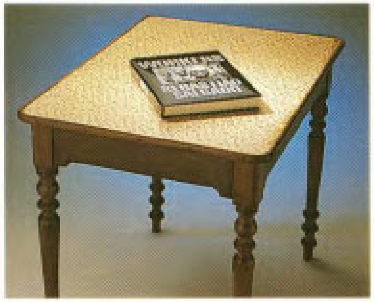


FIG. 20 De draagkracht F_n van de straat houdt de zwaartekracht F_z in evenwicht. Op water zou de auto zo niet blijven staan.

Bij voorwerpen in rust zijn de krachten even groot en tegengesteld. Men zegt ook wel: de krachten zijn in evenwicht, of *de resulterende kracht* is nul.
Maar hier is een moeilijker voorbeeld (figuur 21).

Als een parachutist met ongeopend valscherm uit een vliegtuig springt neemt zijn snelheid toe, maar de wrijvingskracht óók. Als zijn parachute niet open zou gaan, zou hij steeds sneller vallen, tot de wrijvingskracht even groot zou zijn geworden als de zwaartekracht. Door het opengaan van zijn parachute neemt de wrijving echter plotseling toe. Zijn valsnelheid wordt nu kleiner, tot de wrijvingskracht evenwicht maakt met de zwaartekracht op de parachutist en zijn valscherm.
Het doet er dan niet meer toe of de parachutist van grote hoogte valt of niet. Hij komt altijd met dezelfde snelheid op de grond. De parachutist valt *met constante snelheid*. De krachten op de parachutist houden elkaar in evenwicht.

FIG. 21 De parachutist beweegt wel degelijk, maar de krachten zijn toch in evenwicht.

FIG. 23 $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$. Het gummetje dat op de grond valt, krijgt meer snelheid (Δv), omdat de zwaartekracht langer werkt (Δt).

FIG. 24 $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$. Ondanks de krachtige motor (F is groot) trekt een vrachtwagen (grote m) bij een stoplicht niet zo snel op als een personenauto (kleine m).

Nog een voorbeeld. De auto in figuur 22 ondervindt vier krachten: de zwaartekracht F_z, de draag- of normaalkracht F_n, de motorkracht F_m en de wrijvingskracht F_w. De krachten zijn twee aan twee gelijk en tegengesteld. De krachten houden elkaar in evenwicht. Hierdoor verandert de snelheid niet.
Geeft de bestuurder meer gas, dan wordt de motorkracht groter. De auto gaat harder, maar daardoor neemt ook de wrijvingskracht weer toe, totdat $F_w = F_m$ bij een hogere, constante snelheid.

FIG. 22 De auto's rijden met constante snelheid, de krachten zijn in evenwicht.

De wetten van Newton

Newton, een Engelsman, is de belangrijkste natuurkundige aller tijden. Hij leefde van 1642 tot 1727. In dit theorieblad staan twee van de belangrijkste wetten die hij heeft ontdekt.

DE EERSTE WET VAN NEWTON

Als op een voorwerp géén kracht werkt, of als de krachten met elkaar in evenwicht zijn, blijft het voorwerp in rust òf beweegt met constante snelheid verder.

DE TWEEDE WET VAN NEWTON

Als op een voorwerp een (resulterende) kracht werkt, verandert de snelheid van het voorwerp.
De snelheid neemt méér toe naarmate de kracht langer werkt.
De snelheid neemt minder snel toe naarmate de massa van het voorwerp groter is.

Je kunt de tweede wet van Newton veel korter opschrijven in de vorm van een formule (figuur 23):

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

VOORBEELD: Als het stoplicht op groen springt rijdt een auto met een massa van 800 kg weg (figuur 24). Na 10 seconden heeft de auto een snelheid van 90 km/u bereikt. Hoe groot is de stuwkracht van de motor?

ANTWOORD: Eerst schrijven we de gegevens op:
$m = 800$ kg
$\Delta t = 10$ s
$\Delta v = 90$ km/u $= 25$ m/s
Invullen in de formule:
$F \times 10 = 800 \times 25$
$F = 2000$ N
De stuwkracht is dus 2000 N.

Drie opmerkingen:
1 De snelheid is omgerekend naar m/s. Gebruik in berekeningen met de tweede wet van Newton altijd m in plaats van km, s in plaats van minuten of uren en kg in plaats van g.
2 De chauffeur van de auto schakelt tijdens het optrekken van de eerste naar de vierde versnelling. We houden hier geen rekening mee. We weten alleen de *gemiddelde* stuwkracht.
3 We hebben de wrijvingskrachten verwaarloosd.

We schrijven de formule $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ een beetje anders:

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

De verandering van de snelheid per tijdseenheid, $\frac{\Delta v}{\Delta t}$, hebben we in T1 de *versnelling a* genoemd. Dus is de laatste formule ook te schrijven als:

$$F = m \cdot a$$

Er is een toename van de snelheid, als de kracht meewerkt. Er is een afname van de snelheid als de kracht tegenwerkt. Door de motorkracht gaat een auto steeds sneller, door de remkracht gaat een auto steeds langzamer.

W3

1 Verzin zelf een voorbeeld van:
a snelheidstoename door een kracht;
b snelheidsafname door een kracht;
c constante snelheid door evenwicht van krachten.

2 Hoe leg je je broertje op de basisschool de tweede wet van Newton uit?
Schrijf je uitleg op.

3 Bekijk de figuren 15 tot en met 18.
a In welk geval is de versnelling het grootst?
b In welk geval is de massa het grootst?
c In welk geval is de kracht het grootst?
d Kloppen je antwoorden met $F = m \cdot a$?

4 **a** Hoe groot is de resulterende kracht van jij-op-je-fiets als je met constante snelheid naar school fietst?
b Hoe groot is de kracht die een fietser moet leveren om met een constante snelheid te blijven rijden als de totale wrijvingskracht 20 N is?
c Waarom is het voor racefietsen zo belangrijk (natuurkundig gezien) dat de ketting schoon is en de wielen licht draaien?

5 Een lichte en een zware wielrenner ondervinden op een vlakke weg tijdens het fietsen precies evenveel wrijving (figuur 25).
a Welke fietser moet de grootste kracht uitoefenen als ze met constante snelheid rijden?
b Welke fietser moet de grootste kracht uitoefenen als ze bij een stoplicht even snel wegrijden?

6 Een auto met een massa van 750 kg trekt op bij een stoplicht op een autoweg en levert gedurende 15 seconden een gemiddelde stuwkracht van 1500 N. De gemiddelde wrijvingskracht is 400 N. Na die 15 seconden blijft de auto met een constante snelheid verder rijden.

FIG. 25 De dikke en de dunne hielden ook veel van fietsen.

FIG. 26 Een sprintertrein (links) en een intercitytrein (rechts).

a Bereken de resulterende kracht in de eerste 15 seconden.
b Bereken de snelheid van de auto na 15 seconden.
c Hoe groot is de stuwkracht die de motor levert als hij na 15 seconden met een constante snelheid verder rijdt (de wrijvingskracht is nog steeds 400 N).

7 Een zogenaamde sprinter (trein voor korte afstanden) heeft een kleinere massa, maar een sterkere motor dan een intercitytrein (figuur 26). Waarom zou dat zo zijn?

8 Een wielrenner (totale massa 80 kg) rijdt met een snelheid van 27 km/u. Door extra hard te trappen neemt zijn snelheid in 5 seconden toe tot 36 km/u.
a Bereken de versnelling.
b Bereken de gemiddelde kracht die de wielrenner tijdens het versnellen moet uitoefenen. Neem aan dat er geen wrijvingskracht is.

9 Of een regendruppel nu vanaf 3 of 1 km hoogte uit een wolk valt, hij komt toch met dezelfde snelheid op aarde. Verklaar dit.

10 Een parachutist springt uit een vliegtuig. Zijn valscherm is nog niet geopend.
a Wat gebeurt er met zijn snelheid?
b Wat gebeurt er met de wrijvingskracht die hij ondervindt?
c Wat gebeurt er met zijn snelheid als zijn valscherm opengaat? Licht je antwoord toe.
d Verklaar waarom de parachutist even later met constante snelheid valt en blijft vallen.

T4 Remmen en botsen

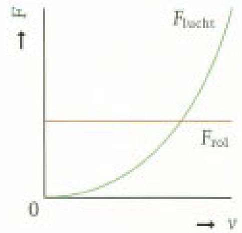


FIG. 27 Hoe harder je fietst, des te meer luchtwrijving.

FIG. 28 Deze fietser ondervindt veel luchtwrijving doordat hij naar rechts beweegt en de lucht naar links.

Remmen

Nadat je op je fiets bent gestapt, neemt door jouw spierkracht je snelheid toe. Tijdens het fietsen werken er nòg twee krachten: de *rolwrijving* (of *rolweerstand*) en de *luchtwrijving*.
De rolweerstand is bij alle snelheden ongeveer hetzelfde. De luchtwrijving is groter naarmate de snelheid groter is (figuur 27).
Als je met constante snelheid fietst, is je spierkracht in evenwicht met de rolweerstand en de luchtwrijving (figuur 28). Stop je met trappen, dan kom je geleidelijk tot stilstand door rolweerstand en luchtwrijving. Je snelheid wordt kleiner. Je hebt een *negatieve* versnelling. Bij remmen is de negatieve versnelling groter. De remkracht is groter dan de som van rolweerstand en luchtwrijving.

VOORBEELD: Je fietst met een snelheid van 16 km/u, je remt voor het stoplicht en komt in 4 seconden tot stilstand. Bereken:
- de versnelling;
- de remweg;
- de remkracht

ANTWOORD:
De gegevens:
v_b = 16 km/u = 4,4 m/s
(Let op: het begin van de beweging voor ons is in deze opgave het moment dat het remmen begint.)
v_e = 0 m/s
Δt = 4 s

De versnelling:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_e - v_b}{\Delta t}$$

$$a = \frac{0 - 4{,}4}{4} = -1{,}1 \text{ m/s}^2$$

(Het klopt, bij remmen is de versnelling negatief!)
De remweg:

$$v_{gem} = \frac{1}{2}(v_b + v_e) = \frac{1}{2}(4{,}4 + 0) = 2{,}2 \text{ m/s}$$

$$s = v_{gem} \cdot \Delta t = 2{,}2 \times 4 = 8{,}8 \text{ m}$$

De remkracht:
$F = m \cdot a$
Je weet de massa niet! Neem aan dat jij-met-je-fiets 50 kg massa hebt.
$F = 50 \times (-1{,}1) = -55$ N
Het minteken laat zien dat het een tegenwerkende kracht is. Het wordt dikwijls weggelaten.
Is je massa groter, samen met je fiets meer dan 50 kg, dan is er meer remkracht nodig. Om zware voorwerpen te stoppen is veel kracht nodig. Een vrachtauto is bijna niet in beweging te krijgen maar ook moeilijk te stoppen. We noemen deze eigenschap de *traagheid* van de massa.

FIG. 29 Aan de schade van deze auto's kun je zien hoe groot de kracht op de auto's tijdens de botsing moet zijn geweest.

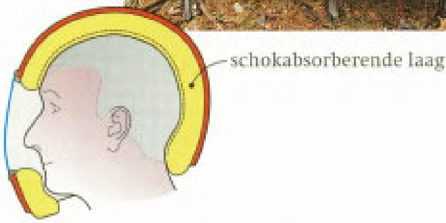


FIG. 30 Het belangrijkste onderdeel van de valhelm is de voering, een schokabsorberende laag. De dikke voering werkt als een stootkussen bij een botsing. Het hoofd komt niet ineens tot stilstand. Er is een remweg van enkele centimeters. Hoe groter de remweg, des te groter de remtijd en des te kleiner de remkracht. Dat is hier de kracht op het kwetsbare hoofd.

Botsen

Bij een botsing kom je heel snel tot stilstand. In heel korte tijd wordt je snelheid 0. Dus: de versnelling is groot, de remweg is klein en de ervoor benodigde kracht is groot. Die kracht is zó groot dat auto's en fietsen stukgaan (figuur 29) en dat mensen verwond worden (of erger).

Wat hierboven staat kun je ook aan de formules zien:

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

Bij een botsing is Δt klein, dus de versnelling a is groot.

$$F = m \cdot a$$

Als a groot is, is de kracht F óók groot.

Bij een botsing werken heel grote en schadelijke krachten.
De schade aan het menselijk lichaam moet zoveel mogelijk voorkomen worden. Daarvoor dienen:

- de maximumsnelheid;
- de valhelm bij een brommer of motor;
- de kreukzone van een auto;
- de veiligheidsriem;
- de botsballon (airbag);
- de vangrail.

Bekijk de figuren 30 tot en met 35 goed en lees de bijschriften.

FIG. 31 De neus van moderne auto's wordt met opzet niet sterk gemaakt. Bij een botsing 'kreukt' de neus in elkaar. De rest van de auto komt dan geleidelijker tot stilstand, de passagiers met een veiligheidsriem om dus ook. De remweg is nu immers groter.

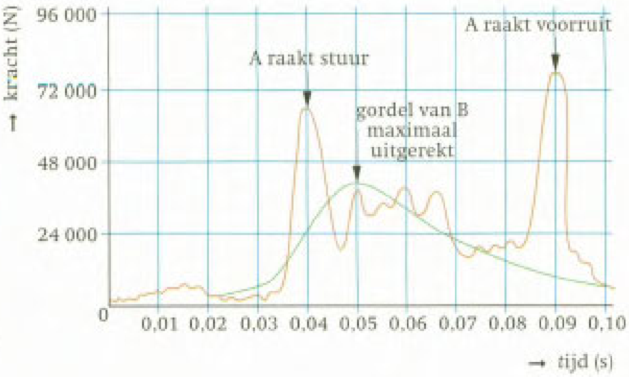


FIG. 32 Als de auto door een botsing plotseling stopt, zul je zonder veiligheidsriem doorvliegen tot je tegen de voorruit botst. Dat komt door je 'traagheid'. Tegen de voorruit kom je heel snel tot stilstand met als gevolg ernstige verwondingen. Met een veiligheidsriem om kom je geleidelijker tot stilstand, zeker als de auto een kreukelzone heeft. Je remweg is dan groter, de remkracht op je lichaam is dus kleiner.

FIG. 33 Een auto rijdt met 50 km/u en botst tegen een muur. Bestuurder A heeft géén veiligheidsgordel om.
Dezelfde proef (maar nu met bestuurder B die wèl een veiligheidsgordel om heeft) laat zien dat de krachten nu veel minder groot zijn.

FIG. 34 Een botsballon heeft hetzelfde effect als een veiligheidsriem. Bij een botsing wordt de ballon heel snel opgeblazen.

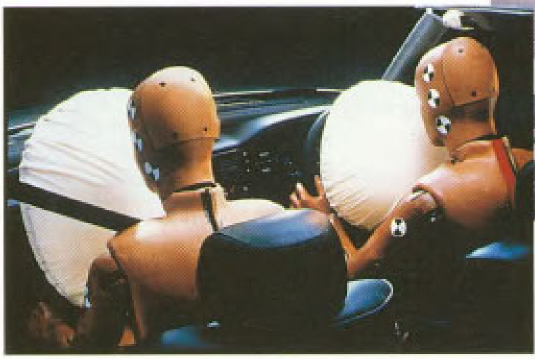


FIG. 35 De vangrail op de autosnelweg voorkomt dat auto's bij ongelukken op de verkeerde weghelft komen. Maar de vangrail is ook zó gemaakt dat hij bij een botsing meebuigt. Zo wordt de remweg vergroot en de remkracht verkleind.

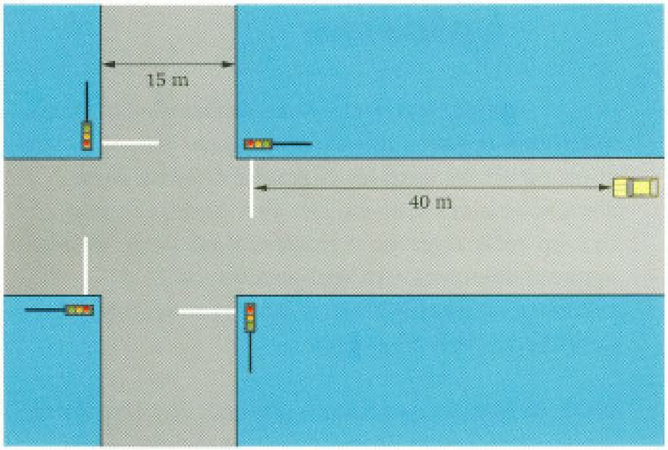
1 Een auto met een massa van 900 kg rijdt met een snelheid van 100 km/u. De auto remt met een versnelling van − 5,0 m/s^2.
a Wat betekent 'een versnelling van − 5,0 m/s^2'?
b Bereken de snelheid van de auto aan het begin van de remweg in m/s.
c Bereken de remtijd.
d Bereken de gemiddelde snelheid tijdens het remmen.
e Bereken de remweg.
f Bereken de kracht die tijdens het remmen op de auto werkt.

2 Een zware Mercedes en een veel lichtere Fiat Panda moeten volgens de wettelijke voorschriften binnen dezelfde tijd stilstaan, als ze bij dezelfde snelheid beginnen te remmen.
Wat voor verschil moet er tussen de remmen zijn? Licht je antwoord toe.

3 Een dronken automobilist reageert trager dan een nuchter mens. De reactietijd van de dronken automobilist is twee maal zo groot als normaal: 1,5 seconde.
Bereken hoeveel langer de remweg hierdoor wordt, als hij bij een snelheid van 90 km/u moet remmen.

4 Anita: 'Een auto met kreukelzone is veiliger dan een tank.'
Maarten: 'Onzin, als een auto tegen een tank aanrijdt, merk je dat in de tank niet eens.'
Anita: 'Maar als een tank tegen een berg aanrijdt, merk je het wel. En meer dan wanneer je in een auto zit.'
Wie heeft gelijk? Of allebei? Waarom? Gebruik in je antwoord de begrippen 'remweg', 'massa van de auto' en 'massa van de tank'.

FIG. 36 Een kruispunt van bovenaf gezien.



5 Een auto rijdt met een snelheid van 54 km/u binnen de bebouwde kom naar een kruispunt met stoplichten. De straten zijn (met trottoir) 15 meter breed (figuur 36).
Als het licht op oranje springt, is de auto 40 meter van het stoplicht. De bestuurder heeft een reactietijd van 0,5 seconde. De remkracht van de auto is 4000 N, de massa 800 kg.
a Bereken de remtijd.
b Hoeveel meter rijdt de auto nog door voordat hij begint te remmen?
c Bereken de stopafstand.
d Komt de auto tot stilstand vóór of voorbij de stopstreep?
Kijk nu wat er gebeurt als de bestuurder besluit door te rijden in plaats van te remmen. Het licht staat 3,0 seconde op oranje.
e Rijdt de auto door rood of oranje licht? Geef een berekening.
Als het licht op rood springt, kan in de andere straat het licht op groen springen. Dit mag niet gelijktijdig gebeuren.
f Waarom niet?
g Hoeveel tijd moet er minstens zitten tussen het op rood springen in de ene, en het op groen springen in de andere straat?

H1 Vraagstukken oplossen

Je weet inmiddels zoveel van natuurkunde dat je ook moeilijker opgaven moet leren maken. Bedenk dat bij zulke moeilijke sommen niemand de antwoorden zomaar op kan schrijven. Het kost denkwerk en dus tijd om zulke opgaven te maken. Maak liever weinig opgaven helemaal, dan veel opgaven half.
Denken gaat eigenlijk niet zonder te schrijven. Gebruik dus veel (klad)papier.

OPGAVE:
Een auto met een snelheid van 100 km/u remt krachtig en komt na 80 meter tot stilstand. Hoe groot is de remkracht op de bestuurder? De bestuurder heeft een massa van 60 kg.

Maak als het kan een tekening (figuur 37). Dan kun je je voorstellen waar de vraag over gaat. Schrijf dan de gegevens op en gebruik de afkortingen van grootheden en eenheden. Reken eenheden waar nodig om naar kg, m en s.

GEGEVENS:
v_b = 100 km/u = 100 : 3,6 m/s = 28 m/s
remweg s = 80 m
m van bestuurder = 60 kg

FIG. 37 Een remmende auto komt na 80 m tot stilstand.

En wat wordt er nu eigenlijk gevraagd?
Welke formules zouden hier misschien van toepassing kunnen zijn? Er zijn altijd meer formules dan je nodig zult hebben.

Er is nog een gegeven. Deze vraag gaat over een remweg. Op het laatst staat de auto stil. Dus de eindsnelheid v_e = 0 m/s.
Nu komt de natuurkunde aan bod en moet je echt nadenken. Ga niet als een gek de gegevens in formules stoppen. Dat is *niet* de snelste en zeker niet de beste methode om de oplossing te vinden. Ga nog eens na waar het vraagstuk eigenlijk over gaat, en of er misschien toch nog gegevens uit de tekst te halen zijn. Bedenk langs welke route je het probleem gaat oplossen.

GEVRAAGD:
F_{rem} op de bestuurder van de auto die gaat stoppen.

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

$$a = \frac{v_e - v_b}{\Delta t}$$

$$v_{gem} = \frac{1}{2}(v_b + v_e)$$

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

$$s = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2$$

$$F = m \cdot a$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

Nu het denkwerk:
Je moet een kracht uitrekenen. Door de kracht wordt de massa van 80 kg van de automobilist afgeremd tot stilstand.
De formule $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ kun je niet gebruiken. Je weet wel de Δv, maar niet de Δt. De formule $F = m \cdot a$ helpt je ook niet, want je weet de a niet. Maar je weet wat er met de snelheid gebeurt en je kunt dus de gemiddelde snelheid uitrekenen. Als je die weet kun je de Δt, de remtijd, uitrekenen.

$v_{gem} = \frac{1}{2}(v_b + v_e) = \frac{1}{2}(28 + 0) = 14$ m/s

$s = v_{gem} \cdot \Delta t$
$80 = 14 \times \Delta t$
$\Delta t = 80 : 14 = 5{,}7$ s

Als je weet hoe je nu verder gaat, hoef je alleen nog wat te rekenen. Eigenlijk ben je al klaar. Het kan zijn dat je in de vorige stap eerst de verkeerde weg bent ingeslagen. Als dat zo is, dan moet je de vorige stap nogmaals doorlopen.

$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$
$F \times 5{,}7 = 60 \times 28$
$F = 295$ N

Bijna klaar. Nu nog de controle. Is je antwoord een beetje redelijk, niet idioot groot of klein? Heb je de eenheden en grootheden opgeschreven?

Eigenlijk is $\Delta v = -28$ m/s. Het is een snelheidsafname. De kracht is dus eigenlijk negatief. Dat klopt. Het is een remkracht, een tegenwerkende kracht.

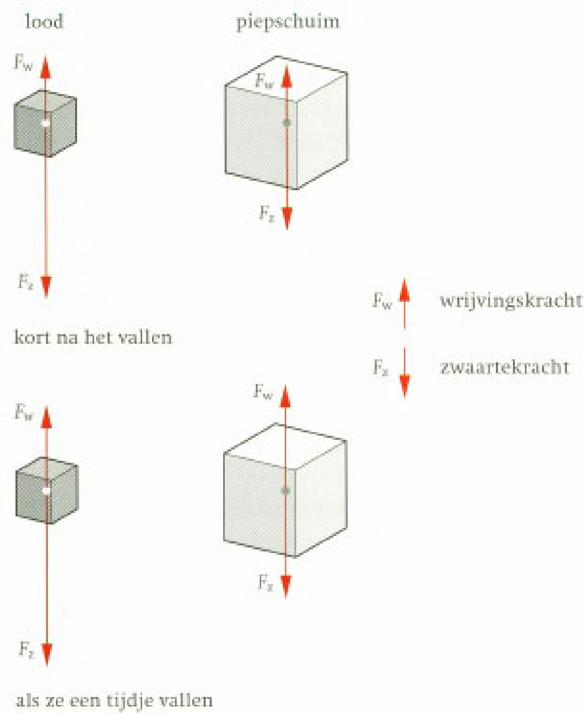
H2 Vallen

Een vallend voorwerp ondervindt twee krachten: de zwaartekracht F_z en de wrijvingskracht F_w. Door de zwaartekracht zal een voorwerp steeds sneller gaan vallen. Wordt de snelheid groot, dan gaat de luchtwrijving echter een rol spelen. Deze wrijvingskracht werkt tegen de zwaartekracht in. De wrijvingskracht is groter bij grotere snelheid. Bij een zekere snelheid is de wrijvingskracht gelijk geworden aan de zwaartekracht (dat wil zeggen: tegengesteld en even groot). Je zegt dan: de *resulterende kracht* is nul. Het voorwerp blijft doorvallen, maar de snelheid wordt *niet* groter meer.

VOORBEELD 1: Een vallende regendruppel bereikt al na enkele meters zijn maximumsnelheid. Dan is de luchtwrijving al even groot als de zwaartekracht geworden. De snelheid waarmee regendruppels op de grond komen hangt niet af van de hoogte waarop de wolk zich bevindt. Gelukkig niet. Als er geen luchtwrijving zou zijn, zouden regendruppels onze schedel doorboren.

VOORBEELD 2: Een blokje lood en een groter blok piepschuim zullen direct na het loslaten even snel vallen. Bij het blok piepschuim zal de wrijvingskracht van de lucht al gauw gelijk zijn aan de zwaartekracht. Bij het blokje lood niet. De maximumsnelheid van het blok lood wordt daardoor groter dan de maximumsnelheid van het blok piepschuim (figuur 38).

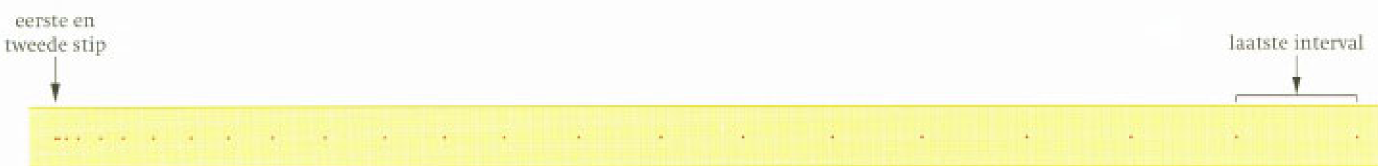
FIG. 38 Links een blokje lood, rechts een blok piepschuim. Let op de grootte van de pijlen.



De valversnelling

Bekijk de val van een gewichtje met behulp van een tijdtikker. Het gewichtje valt over zo'n kleine afstand dat de luchtwrijving nog geen invloed heeft. Op de strook van de tijdtikker staan stippen. De onderlinge afstand tussen de stippen wordt steeds groter. De afstand tussen twee stippen noem je een *interval*. In figuur 39 staat zo'n tijdtikkerstrook op schaal afgebeeld.

FIG. 39 De tijdtikkerstrook gemaakt tijdens een valbeweging (schaal 1 : 5).



Schrijf de volgende opdracht over en vul de ontbrekende getallen en woorden in.

1 Aan de papierstrook van figuur 39 zat aan de .....kant een gewichtje. De afstanden tussen twee stippen, de ....., worden steeds groter. Daaraan kun je zien dat de snelheid steeds ..... wordt. Het vijfde interval heeft een lengte van ..... cm. De tijdtikker zet om de ..... seconde een stip. Bij het vijfde interval bereken je de snelheid van het gewichtje:
..... meter : ..... seconde = ... meter per seconde.
Bij het tiende interval is de snelheid:
..... meter : ..... seconde = ... meter per seconde.
Tussen deze twee intervallen is 5 × ..... seconde = ... seconde verstreken. Er is aan snelheid bijgekomen: ..... meter per seconde - ..... meter per seconde = ... meter per seconde. De versnelling is dus ..... meter per ..... per ..... ofwel ..... meter per ..... per ..... = ... meter per .....

De valversnelling op aarde is ongeveer 9,8 meter per seconde^2. Dat betekent dat de snelheid iedere seconde 9,8 meter per seconde groter wordt, als de wrijving verwaarloosbaar klein is.

2 Met welke formule kun je de snelheid van een vallend voorwerp berekenen?

3 Bereken de snelheid van een steen die 4 seconden aan het vallen is.

4 Een meisje springt van de hoge duikplank. Ze komt in het water met een snelheid van 6 m/s. Haar sprong heeft 0,61 seconden geduurd. Controleer deze uitkomst met een berekening.

5 Van een hogere duiktoren springend kom je met een snelheid van 14 m/s in het water. Hoe lang duurt nu de sprong?

Voor het uitrekenen van de valhoogte gebruik je de formule

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

VOORBEELD 1: Je laat een steen vallen van een hoge toren. De steen treft na 4 s de grond. Hoe hoog is de toren?
ANTWOORD: Gebruik de formule:

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$g = 9{,}8 \text{ m/s}^2$$

$$t = 4 \text{ s}$$

$$s = \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times 4^2 = 78{,}4 \text{ m}$$

VOORBEELD 2: Iemand laat van een flat een stuk gereedschap vallen. De valhoogte is 45 m. Bereken de valtijd.
ANTWOORD: Gebruik weer de formule:

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$45 = \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times t^2$$

$$t^2 = 45 : \left(\frac{1}{2} \times 9{,}8\right)$$

$t = 3$ s (afgerond).
Reken dit voorbeeld na.

6 Vanaf een 125 meter hoge kraan laat men de stalen haak naar beneden vallen.
a Bereken de valtijd.
b Bereken de snelheid waarmee de haak de grond treft.

7 Op de maan is de valversnelling maar 1,6 m/s^2. Als je daar bijvoorbeeld een maansteen uit je hand, van 1,2 meter hoogte, op je teen laat vallen, doet het geen pijn.

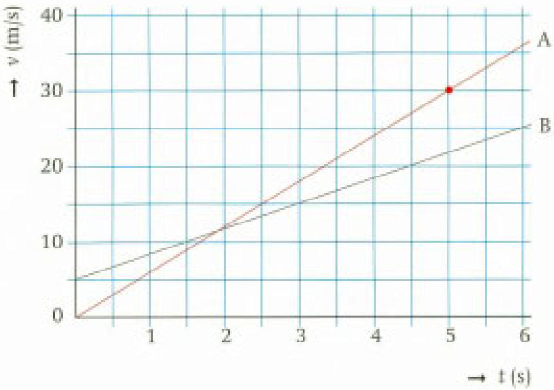
a Hoe komt dat?

b Hoe lang duurt de val?

c Bereken de snelheid waarmee de steen op je teen komt.

8 Bereken uit de twee grafieken van figuur 40 de versnelling van beweging A en beweging B.

FIG. 40 De snelheid-tijdgrafieken van twee bewegingen A en B.



9 Een parachutist springt uit een vliegtuig en trekt zijn parachute pas na 10 seconden open. Hij komt een minuut later op de grond.

a Beschrijf hoe zijn snelheid verandert tot hij op de grond is.

b Teken zo goed mogelijk een snelheid-tijdgrafiek van deze val.

BLOK 6 EXTRASTOF

E1 Oefenvragen en opgaven

In dit extrastofblad ga je de theorie uit blok 6 toepassen in een aantal situaties die moeilijker zijn dan de opgaven die je in de werkbladen bent tegengekomen. In herhaalblad 1 staan nuttige aanwijzingen, die je bij het oplossen van deze vraagstukken kunt gebruiken.

FIG. 41 Een demarrage uit het peloton (Parijs-Roubaix).

1 Wielrenners

Een groepje wielrenners rijdt met een constante snelheid van 8,0 m/s. Op zeker moment demarreert een renner (figuur 41). Dat betekent dat hij zó hard fietst dat hij voor de groep uit fietst. Gedurende 10 seconden levert hij een extra kracht van 20 N. De totale massa van renner plus fiets bedraagt 80 kg. De luchtwrijving blijft constant.
Bereken de voorsprong van de gedemarreerde wielrenner op zijn achtervolgers na 10 seconden.

2 Een tanker

Een tanker met een massa van 60 000 ton (1 ton is 1000 kg) vaart met een snelheid van 5,0 m/s op de Noordzee. Om op tijd stil te liggen moet de tanker 20 km van tevoren vaart beginnen te minderen.
Bereken de gemiddelde remkracht die de tanker na 20 km tot stilstand brengt.

FIG. 42 Een schot langs de grond richting doel.

3 Een voetbal

Een voetbal met een massa van 0,500 kg ligt op de middenstip (figuur 42). Een voetballer schiet de bal langs de grond in de richting van het doel. Hij oefent gedurende 0,040 seconde een kracht van 200 N uit op de bal. Het gras oefent een gemiddelde wrijvingskracht uit van 1,6 N. De afstand middenstip-achterlijn bedraagt 45 meter. De bal ligt stil, voordat hij de achterlijn bereikt heeft.

Toon dit met een berekening aan. Bedenk dat je eerst moet uitrekenen welke snelheid de bal krijgt door de trap.

4 Een bal omhoog gooien

Marjan gooit een bal van 0,4 kg de lucht in met een snelheid van 8,0 m/s. Let niet op de wrijving.

a Welke kracht zorgt ervoor dat de bal steeds langzamer gaat stijgen?

b Bereken die kracht.

c Hoe groot is de snelheid van de bal in zijn hoogste punt?

d Bereken na hoeveel seconden de bal het hoogste punt bereikt.

e Bereken de hoogte die de bal bereikt.

5 Moordaanslagen met bloempotten

Aan de voet van een hoog flatgebouw staat een man ontzettend vals viool te spelen. Vanaf een balkon op de derde verdieping, 9,0 m hoog, laat een 'heer' een pot geraniums naar beneden vallen (figuur 43). Precies op datzelfde moment smijt een 'dame' van een flat op de vierde verdieping, 12,0 m hoog, een pot met een Kaaps viooltje met een zekere beginsnelheid loodrecht omlaag. Het Kaaps viooltje smakt na 1,2 s op de grond (waarbij de violist op een haar na wordt geraakt). Ook de geranium mist doel en valt op de grond. Wrijvingskrachten op de bloempotten verwaarlozen we.

a Laat met een berekening zien dat de geranium de grond later raakt dan het Kaaps viooltje.

b Bereken de snelheid waarmee de geranium de grond raakt.

c Bereken de beginsnelheid waarmee het Kaaps viooltje omlaag is geworpen.

d Bereken de snelheid waarmee het Kaaps viooltje de grond raakt.

FIG. 43 Moordaanslagen met bloempotten.

E2 De horizontale worp

In dit extrastofblad ga je de baan onderzoeken van een voorwerp dat horizontaal wordt weggegooid (figuur 44).

Je gebruikt een apparaatje waarmee een kogel horizontaal kan worden weggeschoten en waarbij tegelijkertijd een tweede kogel valt (figuur 45). Een stroboscopische foto toont de baan van beide kogels (figuur 46). Om de baan van kogel 1 te bepalen, is de stroboscopische foto van beide kogels overgetekend in het diagram van figuur 46. In dit diagram zijn de plaatsen afgebeeld van beide kogels op precies dezelfde tijdstippen. Op de *y*-as is de kogel getekend die verticaal naar beneden valt (kogel 2). Tot slot toont figuur 47 wat er met een horizontaal weggespoten waterstraal gebeurt.

FIG. 44 Een steen wordt horizontaal weggegooid.

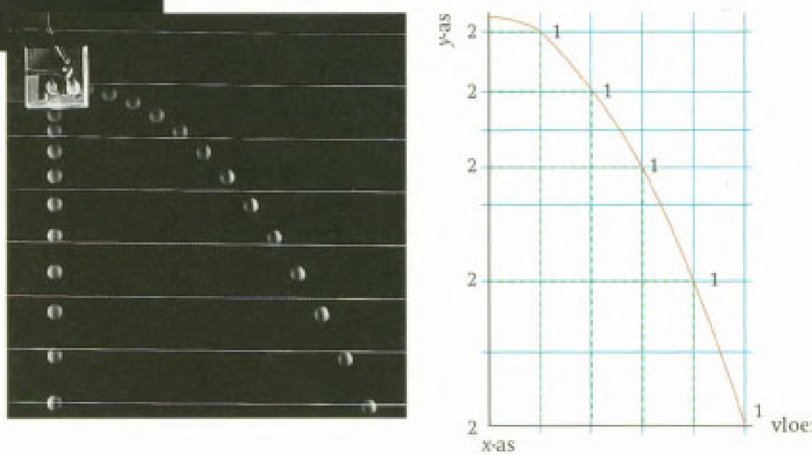
1 Als je de proef goed hebt uitgevoerd en als je goed hebt geluisterd, hoorde je beide kogels tegelijk op de vloer komen. Welke conclusie kun je hieruit trekken?

2 Wat voor soort beweging voert kogel 2 uit?

3 **a** Bekijk in figuur 46 de afstanden die kogel 1 in horizontale richting aflegt. Wat merk je op?
b Wat voor soort beweging doorloopt kogel 1 in horizontale richting?

FIG. 45 Met het toestel wordt kogel 1 horizontaal weggeschoten. Op precies hetzelfde moment wordt kogel 2 losgelaten, zodat deze verticaal naar beneden valt. Plaats het apparaatje zo hoog mogelijk, maar in ieder geval zó dat beide kogels op de vloer terecht kunnen komen. Zorg ervoor dat kogel 1 precies horizontaal wordt weggeschoten. Door goed te luisteren kun je horen of de kogels gelijktijdig de grond raken.

FIG. 46 Stroboscopische foto van de vallende kogels. Elk interval duurt even lang. Aan de foto kun je zien dat op ieder moment beide kogels even hoog boven de grond zijn. De stroboscopische foto is in het diagram nagetekend.



4 Langs de *y*-as van het diagram kun je de hoogte van kogel 1 aflezen. Vergelijk op dezelfde tijdstippen de hoogtes van kogel 1 en kogel 2.
a Wat valt je hierbij op?
b Wat voor soort beweging voert kogel 1 uit in verticale richting?

Samenvatting

1 De beweging langs de *x-as*, in horizontale richting dus, is *eenparig*, dat wil zeggen: met een constante snelheid.
2 De beweging langs de *y-as* is *eenparig versneld*, dat wil zeggen: met een constante versnelling, zonder beginsnelheid, in verticale richting.

Nu kun je de baan berekenen van elk voorwerp dat in horizontale richting weggeschoten of weggeworpen wordt. Je gebruikt daarbij de formules uit dit blok.

VOORBEELD: Vanaf een flat wordt van 80 m hoogte een bal in horizontale richting weggeworpen met een horizontale beginsnelheid van 8,0 m/s. Verwaarloos de luchtwrijving.
1 Bereken de plaats waar de bal de grond raakt.
2 Bereken en teken in een diagram de baan van de bal.

FIG. 47 De waterstraal uit de tuinslang volgt dezelfde soort baan als de horizontaal weggeschoten kogel.

OPLOSSING:
1 De beweging van de bal kun je opsplitsen in een horizontaal deel en een verticaal deel. De bal zal in horizontale richting blijven bewegen met een constante snelheid van 8,0 m/s. Er werkt immers geen kracht in horizontale richting. In verticale richting valt de bal eenparig versneld met de valversnelling van 9,8 m/s^2. Voor de verticale afstand geldt de formule:

$$s = \frac{1}{2}\, g \cdot t^2$$

Deze formule gebruik je om de valtijd te berekenen.

$$80 = \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times t^2 \rightarrow t \approx 4{,}0 \text{ s}$$

Na 4,0 seconden treft de bal de grond. De beweging in de horizontale richting duurde dus óók 4,0 seconden. Nu kun je de verplaatsing in de horizontale richting berekenen met de formule:

$$s = v \cdot t = 8{,}0 \times 4{,}0 = 32 \text{ m}$$

De bal komt op 32 m afstand van de flat op de grond terecht.

2 Om de baan van de bal te kunnen tekenen, moet je uitrekenen waar de bal zich bevindt op een aantal tijdstippen. Op de *y*-as zet je de valhoogte uit en op de *x*-as de verplaatsing in horizontale richting. De horizontale verplaatsing na 4 seconden weet je al: 32 m. Je weet dus het beginpunt en het eindpunt van de baan.
Nu bereken je de plaats van de bal 1 seconde na het weggooien:

Verticaal:

$$s = \frac{1}{2}\, g \cdot t^2 = \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times 1^2 = 4{,}9 \text{ m}$$

De bal is dus 4,9 m gedaald en bevindt zich dus (80 - 4,9) = 75,1 m boven de grond.

Horizontaal:
$s = v \cdot t = 8{,}0 \times 1 = 8{,}0$ m

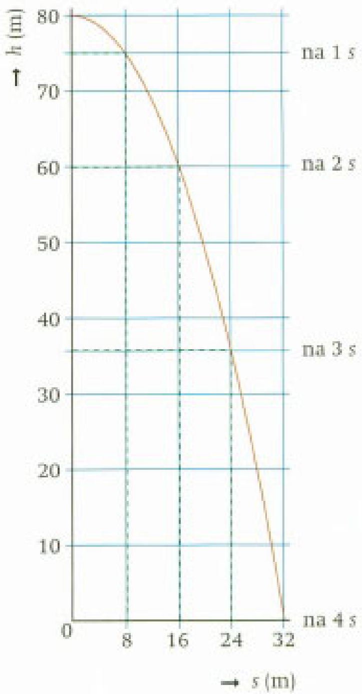
Op dezelfde manier bereken je de plaats van de bal na 2, 3 en 4 seconden (figuur 48).

FIG. 48 Waar bevindt zich de bal?

t (s)	s,horizontaal (m)	s,verticaal (m)	hoogte (m)
2	16	20	60
3	24	44	36
4	32	78	02

In het diagram van figuur 49 is de baan van de bal getekend.

FIG. 49 Diagram van een horizontale worp.



In de volgende opgaven moet je zelf rekenen aan de kromme banen bij een horizontale worp.

5 Op de muur van een kasteel staat een kanon opgesteld, 45 meter boven de grond. Met dit kanon worden kogels afgeschoten met een snelheid van 100 m/s in horizontale richting.
a Na hoeveel seconden bereikt de kogel de grond?
b Op hoeveel meter van de kasteelmuur komt de kogel op de grond terecht?
c Je plaatst het kanon twee maal zo hoog, op 90 m boven de grond, en schiet de kogel twee maal zo snel weg, met 200 m/s. Komt de kogel twee maal zo ver, of vier maal zo ver, of is het antwoord nog anders? Bepaal dit door berekening.

6 Een bal wordt op een hoogte van 5,0 meter horizontaal weggeworpen en komt op een afstand van 20 meter in horizontale richting op de grond. Bereken met welke snelheid de bal werd weggeworpen.

7 Een bal wordt vanaf een toren in horizontale richting weggeworpen met een snelheid van 30 m/s. De bal komt 90 meter verder op de grond terecht.
a Van welke hoogte is de bal weggeworpen?
b Teken de baan van de bal nauwkeurig. Bereken daarvoor enkele punten.

E3 Vrije experimentele opdrachten

Misschien wil je als onderwerp voor extrastof liever een eigen onderzoekje doen over een onderwerp dat met de stof uit dit blok te maken heeft.
In dat geval kun je vast wel een geschikte keuze maken uit de 18 experimenten die in P4 van dit blok staan vermeld.
Bij elk experiment zijn het aantal deelnemers aan het onderzoekje en de geschatte lestijd vermeld.

Er staan 10 onderwerpen in voor één leerling, die een halve tot één les duren: de experimenten 2, 4, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17 en 18.
Zes experimenten van een halve tot één les zijn geschikt om met z'n tweeën te doen: de nummers 1, 3, 5, 10, 12 en 13.
Verder is experiment 9 geschikt voor drie deelnemers en experiment 15 voor vier deelnemers.
Maak je keus in overleg met je leraar. Veel succes met je onderzoek.