Leerdoelen

Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 14

1 Je moet weten dat de resulterende kracht de som is van twee of meer krachten. [P1, T1, W1]

2 Je moet weten dat een voorwerp in rust blijft, of met een constante snelheid voortbeweegt, als de resulterende kracht 0 N is. [P1, T1, W1]

3 Je moet weten dat een voorwerp een snelheidsverandering ondergaat als de resulterende kracht niet 0 N is. [P1, T1, W1]

4 Je moet kunnen aangeven wat er met de snelheidsverandering gebeurt als:
- de resulterende kracht groter wordt;
- de resulterende kracht langer werkt;
- het voorwerp een grotere massa heeft. [P1, T1, W1]

5 Je moet weten dat de snelheidsverandering per seconde constant is bij de valbeweging zonder wrijving. [P2, T2, W2]

6 Je moet weten dat de versnelling van een voorwerp gelijk is aan de snelheidsverandering per seconde. [P2, T2, W2]

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

8 Je moet weten dat bij de valbeweging in lucht de wrijvingskracht groter wordt als de snelheid groter wordt. [P2, T2, W2]

9 Je moet weten dat elk vallend voorwerp in de lucht op den duur met een constante snelheid gaat bewegen. [P2, T2, W2]

10 Je moet met de formule $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ aan de valbeweging kunnen rekenen. [P2, T2, W2]

11 Je moet weten hoe de remweg van een fiets of auto afhangt van:
- de beginsnelheid,
- de massa,
- de totale remkracht. [P3, T3, W3]

12 Je moet weten welke krachten de totale remkracht bepalen die op een fiets of auto werken tijdens het afremmen. [P3, T3, W3]

13 Je moet weten dat bij een zeer korte remweg de remkracht zeer groot kan zijn. [P3, T3, W3]

14 Je moet weten dat een valhelm en de kreukelzone van een auto toepassingen zijn om de remtijd te vergroten. [P3, T3, W3]

15 Je moet met de formules
$s = \bar{v} \cdot t$ en
$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$
de remtijd en de remweg van rijdende voertuigen kunnen berekenen. [P3, T3, W3]

Grootheden, symbolen en eenheden die in dit blok worden gebruikt

grootheid	symbool	eenheid	afkorting
afstand	s	meter	m
kracht	F	newton	N
massa	m	kilogram	kg
snelheid	v	meter per seconde	m/s
gemiddelde snelheid	$\bar{v}$	meter per seconde	m/s
snelheidsverandering	Δv	meter per seconde	m/s
snelheid op één bepaald tijdstip t	v_t	meter per seconde	m/s
tijd	t	seconde	s
tijdsduur	Δt	seconde	s
versnelling	a	meter per seconde-kwadraat	m/s^2
valversnelling	g	meter per seconde-kwadraat	m/s^2

formules:

$$\Delta v = v_{eind} - v_{begin}$$
$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$\bar{v} = \tfrac{1}{2}v_{begin} + \tfrac{1}{2}v_{eind}$$
$$s = \bar{v} \cdot \Delta t$$
$$s = \tfrac{1}{2}g \cdot t^2$$

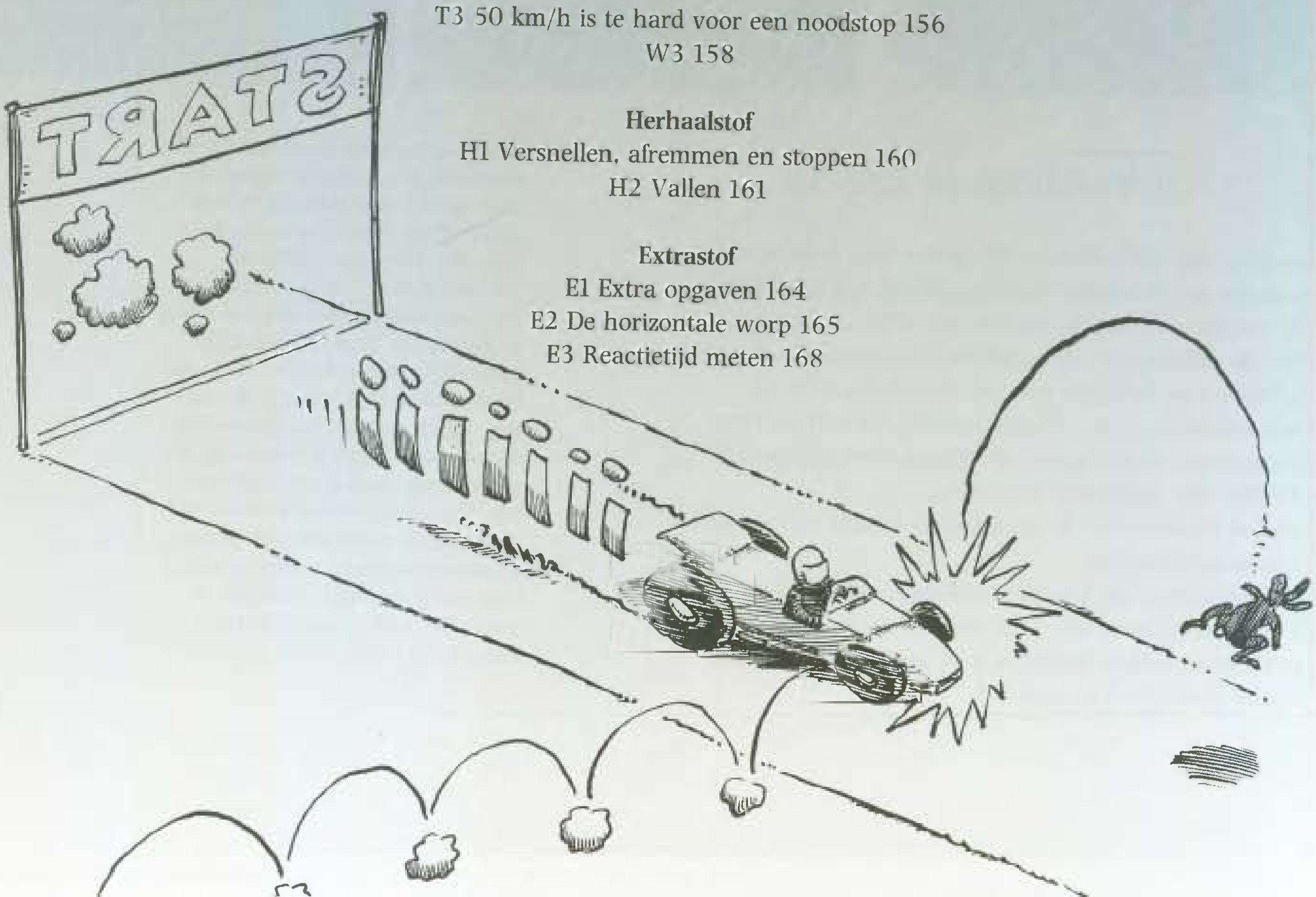
Blok 14

Optrekken en afremmen

Basisstof

Herhaalstof

Extrastof



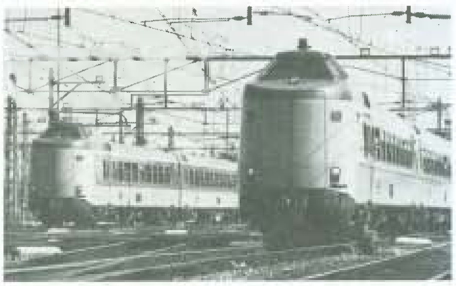
T1 Optrekken en versnellen

Om vanuit stilstand te beginnen met fietsen is meer kracht nodig dan voor het fietsen met een constante snelheid. Om te versnellen van 20 km/h naar 30 km/h is meer kracht nodig dan voor het rijden met een constante snelheid van 30 km/h. Op een lichtere fiets kun je gemakkelijker wegrijden dan op een zwaardere fiets. Al deze zaken komen in T1 aan de orde.
Als je begint te fietsen, moet je een kracht uitoefenen. Jouw spierkracht is niet de enige kracht die op je fiets werkt. Er werkt ook wrijvingskracht tussen de band en de weg, er werken wrijvingskrachten in de bewegende delen van je fiets (het lager van je wiel, de ketting enz.) en er werkt luchtweerstand op jou en je fiets. Al die wrijvingskrachten hebben één ding gemeen: ze werken het voortbewegen van de fiets tegen.

fig. 2

fig. 1

fig. 3
Sprintertrein en intercity-trein.



Resulterende kracht

De som van alle krachten die op een voorwerp werken, noemen we de resulterende kracht. Bij het bepalen van de resulterende kracht moeten we rekening houden met de richting van de krachten. We passen dit toe op je fiets en we bekijken eerst de situatie waarin alle optredende krachten *dezelfde* richting hebben als jouw bewegingsrichting (positieve krachten) of *tegengesteld* hieraan zijn (negatieve krachten).
Na het bepalen van de resulterende kracht zijn er dan drie mogelijkheden:
a De resulterende kracht is positief ⇒ je versnelt.
b De resulterende kracht is negatief ⇒ je remt af.
c De resulterende kracht is 0 ⇒ je rijdt met een constante snelheid of je staat stil.

Grootheden als snelheid, kracht en afstand kun je niet alleen met een getal en een eenheid volledig vastleggen. Ook de *richting* is van belang. Dit soort grootheden zijn *vectoren*. Rijden met een constante snelheid betekent dan ook dat zowel de grootte als de richting van de snelheid hetzelfde blijven. Als je een bocht wilt maken, moet je de richting van je snelheid veranderen en dat gaat niet vanzelf. Vooral op een gladde weg merk je dat heel goed; het lijkt net of je fiets rechtdoor wil bewegen. In een bocht heb je geen constante snelheid, omdat de richting van je snelheid verandert en voor elke snelheidsverandering is een kracht nodig.

Als je versnelt (bij een wielrenner noem je dat demarreren), lever je gedurende een bepaalde tijd een extra kracht, waardoor de resulterende kracht positief wordt. De toename van je snelheid zal groter zijn naarmate:
- de resulterende kracht groter is;
- de tijdsduur waarin je de extra kracht levert groter is;
- de totale massa van jou en je fiets kleiner is.

Het verband tussen deze factoren wordt gegeven door de volgende formule:

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

hierin is:

F: de resulterende kracht in newton;

Δt: de tijdsduur in seconden, waarin de resulterende kracht gewerkt heeft;

m: de massa in kilogram;

Δv: de snelheidsverandering $= v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}$ in meter per seconde.

Voorbeeld

Een auto met een totale massa van 800 kg trekt op bij een stoplicht en bereikt na 10 seconden een snelheid van 25 m/s.
Hoe groot is de stuwkracht van de motor als we de wrijvingskrachten verwaarlozen?

$m = 800$ kg,

$\Delta t = 10$ s,

$\Delta v = 25$ m/s (de auto vertrok immers uit stilstand).

Invullen in de formule:

$F \cdot 10 = 800 \cdot 25$

$$F = \frac{20\,000}{10} = 2000 \text{ N}$$

Hieruit volgt dat de resulterende kracht op de auto 2000 N was. En aangezien we de wrijvingskrachten mochten verwaarlozen, is de stuwkracht ook 2000 N (als er wél wrijving was geweest, had de motor voor dezelfde prestatie meer kracht moeten leveren).
Eigenlijk moeten we over de *gemiddelde* (stuw)kracht spreken omdat de stuwkracht van een automotor niet constant is. In het begin is hij vaak wat groter dan aan het eind en ook bij het schakelen verandert de stuwkracht van de motor.

Blok 14

W1

1 Hoe groot is de resulterende kracht van het systeem jij-op-je-fiets als je met een constante snelheid naar school fietst?

2 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?

3 Waarom is het voor racefietsen zo belangrijk (natuurkundig gezien) dat de ketting schoon is en de wielen licht draaien?

4 Stel: een lichte en een zware wielrenner ondervinden op een vlakke weg tijdens het fietsen precies evenveel wrijving.
Welke fietser moet dan de grootste kracht uitoefenen:

a als ze met constante snelheid rijden,

b als ze bij een stoplicht even snel optrekken.

5 Myra en Nina fietsen weg bij een stoplicht. Myra heeft een normale damesfiets, Nina heeft een lichte racefiets. Myra en Nina zijn even zwaar en oefenen bij het wegfietsen dezelfde kracht uit.
Leg uit wie na 10 seconden de grootste snelheid heeft.

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.

a Bereken de resulterende kracht in de eerste 15 seconden.

b Bereken de snelheid van de auto na 15 seconden.

c Bereken 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 3).
Waarom zou dat zo zijn?

8 Een wielrenner (totale massa 80 kg) rijdt met een snelheid van 27 km/h. Door extra hard te trappen neemt zijn snelheid in 5 seconden toe tot 36 km/h (we verwaarlozen de wrijvingskracht).

a Bereken de snelheidstoename in m/s.

b Bereken de gemiddelde kracht die de wielrenner tijdens het versnellen moet uitoefenen.

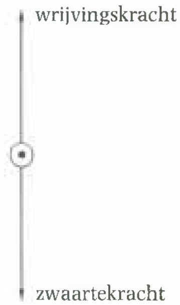
T2

Vallen

De zwaartekracht en de luchtwrijving

Bij de valbeweging treden twee krachten op: de zwaartekracht en de wrijvingskracht.
De zwaartekracht werkt op elk voorwerp. Elk voorwerp zal door de zwaartekracht dezelfde snelheidstoename per seconde ondervinden, mits de zwaartekracht de enige kracht is die op het voorwerp werkt. Een blok lood zal in zo'n geval even snel vallen als een veertje. Maar in vrijwel alle gevallen speelt de wrijvingskracht van de lucht bij de valbeweging een grote rol.
Als je bij windstil weer de snelheid op je fiets geleidelijk opvoert, zul je steeds meer weerstand van de lucht ondervinden. Je hebt het idee dat je tegen de wind in fietst en dat de wind alsmaar sterker wordt. De wrijvingskracht van de lucht is niet constant, maar neemt toe naarmate de snelheid van het voorwerp toeneemt. Een vallend voorwerp zal, naarmate zijn snelheid groter wordt, een steeds grotere luchtwrijving ondervinden. Op een gegeven moment zal de wrijvingskracht even groot zijn als de zwaartekracht. Op dat moment heffen de twee krachten elkaar op: ze werken immers tegengesteld (figuur 4)! De resulterende kracht is dan 0 N.

fig. 4



Bij een vallend veertje zal de wrijvingskracht al gauw even groot zijn als de zwaartekracht. Het lijkt net of een veertje vanaf het begin met constante snelheid valt. Een zwaarder voorwerp, zoals je gebruikt hebt bij de bepaling van de valversnelling, zal een veel grotere snelheid moeten hebben voordat de twee krachten aan elkaar gelijk zijn. Maar elk voorwerp zal door de luchtwrijving op den duur met constante snelheid vallen.

De valversnelling

Bij de bepaling van de valversnelling verwaarlozen we de wrijving van de lucht, zodat we alleen te maken hebben met de zwaartekracht.
In P2 heb je de beweging van een vallend voorwerp vastgelegd met behulp van een tijdtikker. De tijdsduur Δt tussen de stippen (een interval) op de strook is steeds gelijk: $1/50 = 0{,}02$ seconde. Als je de afstand van twee intervallen meet, weet je dus dat die afstand is afgelegd in 0,04 s. Over dat stukje kun je vervolgens de gemiddelde snelheid uitrekenen met de formule:

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

We kunnen de snelheidstoename berekenen door de gemiddelde snelheid over verschillende even grote intervallen met elkaar te vergelijken.

Voorbeeld
De afstand van twee intervallen op een tikkerstrook van een vallend voorwerp bedraagt 2,0 cm en die van de daarop volgende twee intervallen 3,5 cm. De tijdtikker zet 50 stippen per seconde, dus twee intervallen duren 0,04 s. De gemiddelde snelheid $\bar{v}$ over de eerste twee intervallen is dan:

$$\bar{v} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{0{,}020 \text{ m}}{0{,}04 \text{ s}} = 0{,}50 \text{ m/s (afgerond)}$$

De afstand van de volgende twee intervallen bedraagt 3,5 cm. De gemiddelde snelheid op dat stukje is dan:

$$\bar{v} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{0{,}035 \text{ m}}{0{,}04 \text{ s}} = 0{,}88 \text{ m/s (afgerond)}$$

Uit deze twee berekeningen van de gemiddelde snelheid over telkens twee intervallen kunnen we de snelheidstoename Δv van het eerste stukje naar het tweede stukje berekenen:
$\Delta v = 0{,}88 \text{ m/s} - 0{,}50 \text{ m/s} = 0{,}38 \text{ m/s}$.
Het tijdsverschil tussen het eerste en het tweede stukje bedraagt 0,04 s. In 0,04 seconde is de snelheid met 0,38 m/s toegenomen. In 1 s zal de snelheidstoename $\frac{1}{0{,}04} = 25$ maal zo groot zijn:
$\Delta v = 25 \cdot 0{,}38 = 9{,}5 \text{ m/s}$.

De snelheidstoename per seconde noemen we de versnelling. Bij een vallend voorwerp spreken we van de *valversnelling*. Elke seconde neemt de snelheid met eenzelfde waarde toe.
Dit soort beweging, waarbij de snelheid regelmatig toeneemt, noemen we een *eenparig versnelde beweging*.

De versnelling is gelijk aan de snelheidstoename per seconde. In het voorbeeld met de tikkerstrook bleek dat je gegevens de volgende waren: $\Delta t = 0{,}04$ s en $\Delta v = 0{,}38$ m/s.
Je kunt hieruit rechtstreeks de versnelling berekenen met de formule:

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

ingevuld:

$$a = \frac{0{,}38 \text{ m/s}}{0{,}04 \text{ s}} = 9{,}5 \text{ m/s}^2.$$

Deze formule is ook te gebruiken als je de snelheidverandering moet berekenen. Je gebruikt hem dan in de volgende vorm:
$\Delta v = a \cdot \Delta t$.

De valversnelling wordt uitgedrukt in m/s per seconde of beter m/s^2 (spreek uit: meter per secondekwadraat). Het symbool van de valversnelling is g. In het voorbeeld vonden we voor de valversnelling 9,5 m/s^2.
Als we de valversnelling heel precies (zonder wrijving) bepalen, vinden we 9,8 m/s^2. Dat betekent dus dat de snelheid iedere seconde met 9,8 m/s toeneemt.
In opgaven gebruiken we meestal de afgeronde waarde: $g = 10$ m/s^2.

De valversnelling of de versnelling van de zwaartekracht, waarvoor we de letter g in plaats van a gebruiken, is zeer nauwkeurig te bepalen. Later zullen we laten zien dat je dit kunt doen met een slinger, die een grote slingertijd heeft. De waarde van g hangt af van de plaats op aarde. Op de noordpool is g 9,83221 m/s^2, in Nederland 9,81079 m/s^2 en op de evenaar 9,78049 m/s^2.
De verschillen zijn ten dele het gevolg van de afgeplatte vorm van de aarde; g is kleiner als de afstand tot het middelpunt van de aarde groter is. Zeer nauwkeurige metingen van g laten zelfs de invloed zien van een nabij gelegen berg of van extra massieve aardlagen.
De voornaamste oorzaak van de verschillen is echter het verschil in draaisnelheid van de diverse punten op het aardoppervlak. Hoe groter de parallelcirkel die je per 24 uur doorloopt, hoe groter je draaisnelheid is.
De draaisnelheid is het grootst op de evenaar (daar blijkt g het kleinst) en het kleinste op de geografische polen (daar blijkt g het grootst).
Met de kennis die je tot nu toe hebt opgedaan is het echter te moeilijk om precies uit te leggen hoe dat zit.

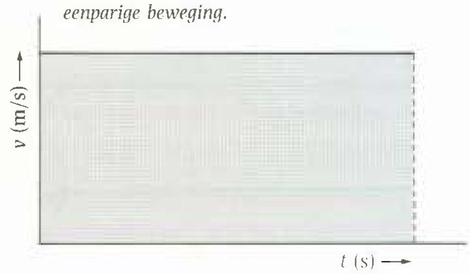
Berekeningen met de valversnelling

Soms is het belangrijk te weten met welke snelheid een vallend voorwerp de grond treft. Met de valversnelling is dit eenvoudig uit te rekenen. We moeten daarvoor de valtijd van het voorwerp weten.
Als een voorwerp drie seconden valt, neemt de snelheid elke seconde met 10 m/s toe (met verwaarlozing van luchtwrijving). De snelheid bij de grond is dan: 3 s × 10 m/s^2 = 30 m/s.
Moeilijker wordt het als we met behulp van de valversnelling de hoogte van bijvoorbeeld een toren willen berekenen. De formule $s = \bar{v} \cdot t$ is daarvoor niet zonder meer te gebruiken.
Met de formule: $s = \frac{1}{2}g \cdot t^2$ kunnen we dit wél direct oplossen.
We kunnen dus met behulp van deze formule de valafstand of valhoogte s berekenen, als we de valtijd t en de valversnelling g weten.

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

Afleiding
Bij een *eenparige* beweging geldt:
$s = v \cdot t$
De grafiek hiervan in het (v,t)-diagram is een rechte lijn, evenwijdig aan de tijdas (figuur 5).

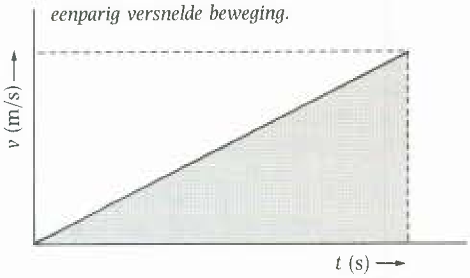
fig. 5
(v,t)-diagram van een eenparige beweging.



In het (v,t)-diagram vinden we de afstand terug als de oppervlakte van een rechthoek, immers v en t zijn de zijden van een rechthoek. De oppervlakte van een rechthoek is gelijk aan basis × hoogte.

Bij een *eenparig versnelde* beweging geldt:
$s = \bar{v} \cdot t$
Van deze beweging weten we verder dat de snelheid elke seconde met dezelfde hoeveelheid toeneemt. Dit betekent dat de grafiek van een eenparig versnelde beweging in het (v,t)-diagram een schuine rechte lijn is vanuit de oorsprong (figuur 6).

fig. 6
(v,t)-diagram van een eenparig versnelde beweging.



In dit (v,t)-diagram wordt de afstand voorgesteld door de oppervlakte van een driehoek. De oppervlakte van een driehoek is $\frac{1}{2}$ × basis × hoogte. De afstand is in dit geval dus:
$s = \frac{1}{2}t \cdot v_t$ of $s = \frac{1}{2}v_t \cdot t$
v_t is het symbool voor de snelheid op het tijdstip t seconden; in ons geval is dat de eindsnelheid.
Vergelijken we deze formule met
$s = \bar{v} \cdot t$
dan blijkt dat voor de snelheid $\bar{v}$ bij een vrije val (= eenparig versnelde beweging zonder beginsnelheid) geldt:
$\bar{v} = \frac{1}{2}v_t$.
In woorden: bij een vrije val zonder beginsnelheid is de gemiddelde snelheid gelijk aan de helft van de eindsnelheid.

In het algemeen geldt voor de gemiddelde snelheid bij een beweging met constante versnelling:
$\bar{v} = \frac{1}{2}v_{begin} + \frac{1}{2}v_{eind}$
Bij de vrije val geldt:
$v_{begin} = 0$ en $v_{eind} = v_t$
Ingevuld:
$\bar{v} = \frac{1}{2} \cdot 0 + \frac{1}{2} \cdot v_t = \frac{1}{2}v_t$
waardoor we ook op dezelfde formule uitkomen.

Wanneer we een voorwerp op grote hoogte loslaten, zal na 5 seconden de snelheid $5 \times 10 = 50$ m/s bedragen. De snelheid neemt immers elke seconde met 10 m/s toe. In formule:
$v_t = g \cdot t$
Als je dit invult in de formule
$s = \frac{1}{2}v_t \cdot t$
krijg je:
$s = \frac{1}{2}g \cdot t \cdot t = \frac{1}{2}g \cdot t^2$

Voorbeeld 1
Vanaf een toren laten we een bal los. Na 3 seconden bereikt de bal de grond. Neem $g = 10$ m/s^2 en verwaarloos de luchtwrijving.
a Bereken de snelheid waarmee de bal de grond treft,
b bereken de hoogte van de toren.

Oplossing:
a De snelheid waarmee de bal de grond treft is: $v_t = 10 \times 3 = 30$ m/s.
b De hoogte van de toren kunnen we berekenen met
$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2$
$s = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 3^2 = 45$ m.

Voorbeeld 2
Je springt van een 2,0 meter hoge brug het water in. Neem $g = 10$ m/s^2 en verwaarloos de wrijving.
a Hoe groot is de snelheid waarmee je het water raakt?
b Hoe lang duurt de sprong?

Oplossing:
Voor het berekenen van de snelheid heb je de tijd nodig. Daarom berekenen we eerst de tijdsduur van de sprong met
$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2$

$$2{,}0 = 5t^2 \Rightarrow t^2 = \frac{2{,}0}{5} = 0{,}4 \Rightarrow t = 0{,}63 \text{ s.}$$

Dus het antwoord op vraag b is 0,63 s.
Nu we de tijdsduur weten kunnen we de eindsnelheid berekenen: elke seconde neemt de snelheid 10 m/s toe, dus $v_t = 0{,}63 \text{ s} \times 10 \text{ m/s} = 6{,}3$ m/s (afgerond).

W2

1a Welke twee krachten spelen bij een valbeweging een rol?
b Welke kracht blijft tijdens de valbeweging constant?
c De andere kracht verandert tijdens de val van grootte. Wordt deze kracht dan kleiner of groter?
d Wat kun je zeggen over deze twee krachten wanneer het voorwerp met constante snelheid valt?

2 Een voorwerp valt.
Van welke grootheden hangt de snelheid af waarmee het de grond treft?

3 Wat weet je van de snelheid van een vallend voorwerp, als we de wrijvingskracht mogen verwaarlozen?

4 Hoe luidt de definitie van de versnelling?

5 Vanaf een flat wordt op 45 meter hoogte een pakje losgelaten. Neem $g = 10\ \text{m/s}^2$ en verwaarloos de luchtwrijving.
a Bereken de valtijd.
b Bereken de snelheid waarmee het pakje de grond treft.

6 Je laat een steen vallen in een diepe put. Je hoort de steen na 3,1 seconden neerkomen op de bodem van de put. Neem $g = 10\ \text{m/s}^2$ en verwaarloos de luchtwrijving.
a Bereken hoe diep de put is.
b Is deze methode nauwkeurig of zou je ook rekening moeten houden met de geluidssnelheid (340 m/s)? Maak je antwoord duidelijk met een berekening.

7 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. Zie de tabel in figuur 7.
a Neem de tabel over en bereken de gemiddelde snelheid voor ieder interval.
b Bereken hieruit de valversnelling op de maan.

fig. 7

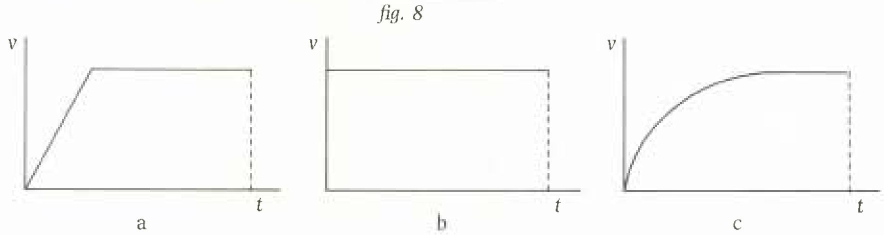
tijd (in s)	hoogte (in m)	gem. snelheid (in m/s)
0,0	3,2	...
0,5	3,0	...
1,0	2,4	...
1,5	1,4	...
2,0	0,0	...

8 Vanaf het dak van een flat valt een zware hamer naar beneden. Het duurt 6,0 seconden voordat de hamer op de grond terechtkomt. Neem $g = 10\ \text{m/s}^2$ en verwaarloos de luchtwrijving.
a Bereken de valhoogte.
b Maak het (v,t)-diagram van deze beweging.

9 In figuur 8 zie je drie (v,t)-diagrammen.
Welke van de drie diagrammen hoort bij een vallende bal? Licht je antwoord toe.

10 Een voorwerp valt van een hoogte van 80 m. Neem $g = 10\ \text{m/s}^2$ en verwaarloos de luchtwrijving.
a Bereken voor iedere seconde hoeveel meter het voorwerp heeft afgelegd. Noteer de gegevens in een tabel.
b Maak hiervan een (afstand, tijd)-diagram. Zet t horizontaal uit en s verticaal.
Let op: de grafiek moet een vloeiende lijn worden!

fig. 8



T3

50 km/h is te hard voor een noodstop

Veel promotiecampagnes van Veilig Verkeer Nederland zijn erop gericht om de verkeersdeelnemers te wijzen op de snelheid waarmee ze in de bebouwde kom behoren te rijden. Op zich is dit logisch, omdat binnen de bebouwde kom de meeste verkeersongevallen plaatsvinden. In bepaalde wijken mag niet harder dan 30 km/h gereden worden. Bij lagere snelheden wordt de remweg aanzienlijk korter. Het aantal verkeersslachtoffers zal bij een noodstop in zo'n wijk aanzienlijk kleiner worden.

Bij het remmen geldt de formule uit T1:
$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$.

Bovendien mag je ook gebruiken:
$s = \bar{v} \cdot t$

Voorbeeld 1
Een auto (massa 800 kg) rijdt in een woonwijk met een snelheid van 54,0 km/h. Vlak voor de automobilist steekt er plotseling een kind over. De automobilist maakt een noodstop en staat in 2,50 seconden stil. Tijdens het remmen is de vertraging (= negatieve versnelling) constant.
a Hoe groot is de beginsnelheid in m/s?
b Hoe groot is de gemiddelde snelheid tijdens het remmen?
c Hoeveel meter rijdt de auto nog door voordat deze stilstaat (= remweg)?
d Hoe groot is de remkracht op de auto?
Oplossing:
a 54,0 km/h = 54 000 m/3600 s = 15,0 m/s.
b De gemiddelde snelheid tijdens het remmen:
v neemt af van 15,0 m/s naar 0 m/s, dus $\bar{v} = \frac{1}{2}(15,0 + 0) = 7,50$ m/s.
c $s = \bar{v} \cdot t = 7,50 \cdot 2,50 = 18,75$ m = 18,8 m.
d $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$

$$F \cdot 2,50 = 800 \cdot 15,0 \Rightarrow F = \frac{800 \cdot 15}{2,5} = 4800 \text{ N}$$

= 4,80 kN.

Bij de berekening is geen rekening gehouden met de *reactietijd*, de tijdsduur die de automobilist nodig heeft om het overstekende kind waar te nemen en vervolgens op het rempedaal te trappen. De reactietijd heeft geen invloed op de remkracht, maar wel op de totale remweg, omdat de snelheid van de auto niet meteen begint af te nemen.

Voorbeeld 2
Een andere auto, ook met een massa van 800 kg, rijdt slechts 18,0 km/h als hij plotseling moet remmen. Deze auto heeft een remkracht van 4800 N.
a Hoe groot is de remtijd van deze auto?
b Hoe groot is de remweg?
Uitwerking:
a 18,0 km/h = 18 000 m/3600 s = 5,00 m/s.
$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$

$$4800 \cdot t = 800 \cdot 5,00 \Rightarrow t = \frac{800 \cdot 5,00}{4800} = 0,83 \text{ s.}$$

De auto staat dus na 0,83 s stil.
b $s = \bar{v} \cdot t$
$s = 2,5 \cdot 0,83 = 2,08$ m.

We vergelijken de snelheden en de remwegen uit voorbeeld 1 en 2

$v_1 : v_2 = 15 : 5$ $\quad s_1 : s_2 = 18,75 : 2,08$
$v_1 : v_2 = 3 : 1$ $\quad s_1 : s_2 = 9 : 1$

Het valt je waarschijnlijk op dat de verhoudingen tussen de snelheden en tussen de remwegen niet hetzelfde zijn. Je ziet dat de remweg zeer snel toeneemt bij grotere snelheid. De verhouding van de remwegen is zelfs het kwadraat van de verhouding van de snelheden.
Nu je dit weet is de maatregel tot het instellen van

Voor auto's heeft de overheid een minimale remvertraging vastgesteld. Deze bedraagt 6,2 m/s^2. Dat wil zeggen dat tijdens het remmen de snelheid van de auto iedere seconde minstens met 6,2 m/s moet afnemen bij maximale remkracht.
Dat betekent dat een auto met grotere massa krachtiger remmen nodig heeft want:
$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ invullen voor $\Delta t = 1$ s:
$F \cdot 1 = m \cdot 6,2$ of $F = 6,2 \cdot m$ newton.

30 km/h zones zeer logisch. De remweg wordt daardoor veel korter: het verkeer dus veiliger.
Een heel plotselinge manier van remmen is botsen. Bij frontale botsingen komt de auto of de fiets in een veel kortere tijd tot stilstand dan bij normaal remmen. De remkracht wordt dus veel groter omdat de remtijd korter is. Om de gevolgen voor de bestuurder zoveel mogelijk te beperken zijn een aantal veiligheidsvoorzieningen getroffen. Valhelm, autogordel en kreukelzone zijn hiervan de meest bekende.
De valhelm zorgt ervoor dat de kracht tijdens de klap over een groter oppervlak wordt verdeeld. Bovendien zorgt de indeukbare binnenhelm ervoor dat de remweg (en daardoor de remtijd) groter wordt, waardoor de kracht op je schedel afneemt.
De autogordel zorgt ervoor dat de automobilist niet in een zeer korte tijd met zijn hoofd tegen de voorruit komt. De kracht wordt verdeeld over een groter oppervlak en een langere tijd.
De kreukelzone is het gedeelte van de auto dat tussen de cabine en de voorbumper zit. Dit gedeelte is zo geconstrueerd dat het tijdens de botsing in elkaar kreukelt. Daardoor wordt de remweg en dus de remtijd tijdens de botsing verlengd. De krachten op de auto en de inzittenden worden daardoor kleiner.

fig. 9
Valhelm.

fig. 10
Veiligheidsgordel.

Bandenprofiel
Tijdens het remmen speelt het contact met de weg een grote rol. De aard en de grootte van het oppervlak van de weg en van de banden zijn dus erg belangrijk.
Aan dat laatste kan de automobilist zelf iets doen. De banden van een auto moeten een goed profiel hebben. Op een vochtig wegdek wordt de grootte van het contactoppervlak van de band en de weg tengevolge van het water kleiner. De wrijving en daardoor de maximale remkracht, neemt behoorlijk af. De auto komt dus later tot stilstand. Het profiel van de banden zorgt ervoor dat het water tussen de profielribbels wordt afgevoerd, waardoor het contact met de weg beter wordt. Als dit niet het geval zou zijn, komt er een waterlaagje tussen de band en het wegdek, waardoor de wielen gaan slippen en de auto kan gaan glijden. Dit slipgevaar treedt bij een nat wegdek vooral op bij snelwegen. Het autoverkeer kan tijdens de zomerwarmte sporen in het wegdek hebben veroorzaakt, waarin veel regenwater blijft staan. Dit noemt men *aquaplaning*. De auto wordt hierdoor onbestuurbaar en bij plotseling remmen of in een scherpe bocht zal de auto van de weg raken. De kans op slippen is groter bij hoger snelheden.

fig. 11
Kreukelzone.

fig. 12
Contactoppervlak tussen autoband en nat wegdek.

Glad wegdek

Op een glad wegdek (regen, ijzel en sneeuw) is de kans dat je slipt groter, doordat de wrijving tussen band en weg kleiner wordt. Bij plotseling en krachtig remmen kunnen de wielen blokkeren, waardoor de kans op slippen groter wordt. *Pompend remmen* kan ervoor zorgen dat de wielen niet blokkeren. De remkracht is bij pompend remmen niet steeds hetzelfde, de wielen blijven hierdoor ronddraaien. Geblokkeerde wielen geven op een droog wegdek 'mooie' zwarte strepen. Deze strepen zijn slechts aantrekkelijk voor bandenfabrikanten, maar bevorderen de verkeersveiligheid niet, omdat de profieldiepte van de banden afneemt. Sommige autofabrikanten hebben hun nieuwste modellen voorzien van ABS, waarbij blokkeren tijdens het remmen niet voor kan komen (ABS = antiblokkeersysteem).

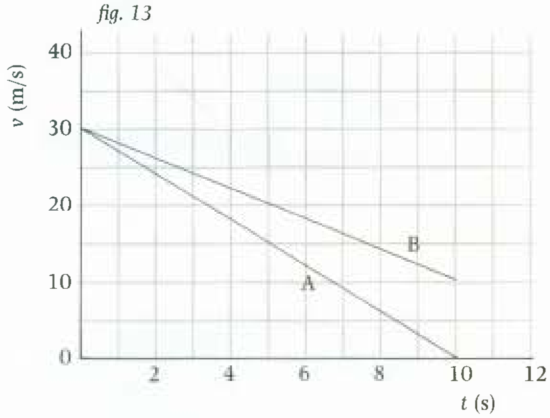
Blok 14

W3

1 Een auto met een massa van 900 kg rijdt met een snelheid van 108 km/h. De auto remt met een constante remvertraging van 5,0 m/s^2.
a Wat betekent 'een remvertraging van 5,0 m/s^2'?
b Bereken de beginsnelheid 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 Twee gelijke auto's A en B rijden met dezelfde beginselheid van 30 m/s. Beide auto's remmen eenparig af. De snelheid van de auto's is af te lezen in het diagram figuur 13.
a Welke auto krijgt de grootste snelheidsverandering?
b Welke auto legt in 10 seconden de grootste afstand af?
c Welke auto ondervindt de grootste remkracht?

fig. 13



3 Een auto (massa 800 kg) rijdt met een snelheid van 81 km/h over een buitenweg. De automobilist moet in 3,0 s afremmen tot 27 km/h voor een langzaam rijdend landbouwvoertuig.
a Bereken de remkracht.
b Bereken de afstand die de automobilist aflegt tijdens het remmen.
c Bereken de remtijd, als de automobilist met een kracht van 1600 N geremd zou hebben.

4 Tijdens een paniekstop blokkeren de wielen.
a Wat kun je doen om dit te voorkomen?
b Wat zijn de nadelen van deze manier van remmen?

5 Een zware Mercedes en een veel lichtere Renault 5 moeten volgens de wettelijke voorschriften binnen dezelfde tijd stilstaan, als ze bij dezelfde snelheid beginnen te remmen.
Welke verschillen moeten er dan zijn tussen de remmen van beide wagens? Licht je antwoord toe.

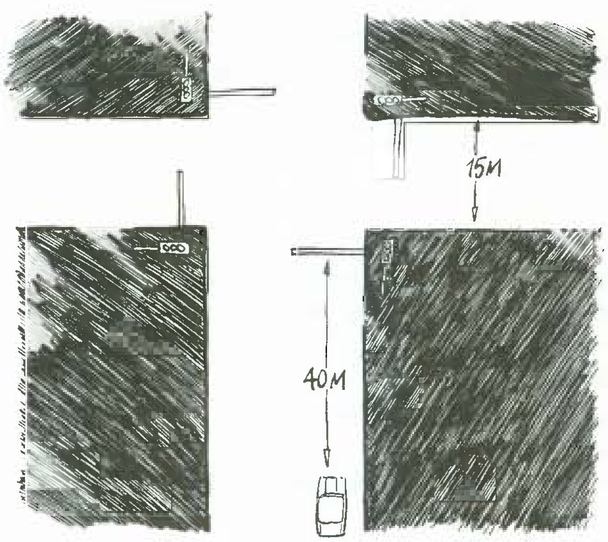
6 Een auto rijdt met een snelheid van 27 km/h tegen een boom.
De auto deukt hierdoor 10 cm in. De voorbumper staat nagenoeg direct stil, terwijl de achterbumper nog een tijdje doorrijdt.
a Bereken de tijd waarin de auto tot stilstand komt.
De veiligheidsgordel moet ervoor zorgen dat de bestuurder (80 kg) ook afgeremd wordt (anders zou hij met een snelheid van 27 km/h door de voorruit vliegen).
b Welke kracht moet de gordel op de bestuurder uitoefenen?
Als de auto een kreukelzone had, zou het effect van de botsing minder zijn geweest.
c Bereken de remtijd van de auto als de kreukelzone tijdens de botsing in totaal 40 cm ingedrukt wordt.
d Welke kracht moet de gordel nu op de bestuurder uitoefenen?
Een medepassagier draagt geen gordel. Daardoor houdt hij zijn oorspronkelijke snelheid, tot hij met zijn hoofd

tegen de voorruit tot stilstand komt.
e Maak een schatting van de remtijd van de passagier.
f Bereken met deze geschatte remtijd de kracht die de passagier ondervindt. (De voorruit blijft heel.)

7 Een dronken automobilist reageert trager, omdat zijn hersenen de plotselinge gebeurtenissen op de weg langzamer verwerken dan onder normale omstandigheden. Dit heeft tot gevolg dat de reactietijd van de automobilist verdubbelt tot 1,5 seconde.
Bereken hoeveel langer de remweg hierdoor wordt, als hij met een snelheid van 90 km/h plotseling moet remmen.

8 Een auto rijdt met een snelheid van 54 km/h binnen de bebouwde kom naar een kruising die beveiligd is met verkeerslichten. De straten op de kruising zijn, inclusief trottoir, 15 meter breed (figuur 14).
De auto is 40 m van het verkeerslicht verwijderd als het licht op oranje springt.

fig. 14



De automobilist heeft een reactietijd van 0,5 seconde. Bij normaal remmen is de remkracht op de 800 kg zware auto 4000 N.
a Bereken de remtijd.
b1 Hoeveel meter legt de auto nog af voordat deze begint te remmen?
b2 Bereken de remweg, rekening houdend met de reactietijd.
b3 Staat de auto vóór of voorbij de stopstreep stil?
De automobilist besluit echter om niet te remmen. Het licht staat 3,0 s op oranje.
e Rijdt deze automobilist door rood of door oranje licht? Licht je antwoord toe met 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 tussen op rood springen in de ene straat en op groen springen in de andere straat zitten?

H1 Versnellen, afremmen en stoppen

Je mag de onderstaande formules gebruiken voor bewegingen met een constante snelheidsverandering.

$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$
$s = \bar{v} \cdot \Delta t$
$\bar{v} = \frac{1}{2}v_{\text{begin}} + \frac{1}{2}v_{\text{eind}}$
$a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

Betekenis van de symbolen met tussen haakjes de bijbehorende eenheid:
F: de resulterende kracht die op het voorwerp werkt (newton);
Δt: de tijdsduur (seconde);
m: de massa van het bewegende voorwerp (kilogram);
Δv: de snelheidsverandering van het voorwerp (meter per seconde);
s: de afstand (meter);
$\bar{v}$: de gemiddelde snelheid (meter per seconde);
a: de versnelling; de snelheidsverandering per seconde (meter per secondekwadraat);
t: de tijd (seconde).

Als je een probleem of opdracht aan gaat pakken moet je altijd beginnen met goed te lezen. Noteer de grootheden tijdens het lezen steeds met dezelfde symbolen als in de formules. Vervolgens zoek je er de formules of rekenregels bij die je nodig denkt te hebben. Vul de gegevens in en reken het gevraagde uit.
Je moet steeds volgens dezelfde methode vraagstukken oplossen.

Hoe pak je een vraagstuk aan? Wat moet je doen?
- Het vraagstuk goed doorlezen.
- De gegevens opschrijven.
- Opschrijven wat gevraagd wordt.
- De gegevens in de juiste eenheden omrekenen.
- Wat voor een soort beweging is het?
- In welke formule komt het gevraagde voor?
- Vul de gegevens in in de formule.
- Zijn er nog grootheden onbekend?
- Zo ja, in welke formule komen die voor?
- Vul in wat je weet.
- Vul de onbekende grootheid in in de formule waar je hem nodig hebt.

Controleer je antwoord:
- Klopt de eenheid?
- Is de getalsgrootte redelijk?
- Heb je rekenfouten gemaakt?

Voorbeeld 1
Een auto trekt op vanuit stilstand. Na 10 s is zijn snelheid 72 km/h. Zijn snelheid neemt gelijkmatig toe.
Bereken de afstand die de auto in 10 s aflegt.
Gegevens:
$\Delta t = 10$ s
$v_{\text{begin}} = 0$ m/s (vanuit stilstand).
$v_{\text{eind}} = 72$ km/h $= 20$ m/s.
Gevraagd: s (de afstand na 10 s).
Het is een beweging met constante versnelling (eenparig versnelde beweging). Daarbij hoort de formule:
$s = \bar{v} \cdot \Delta t$
Gegevens invullen:
$s = \bar{v} \cdot 10$
$\bar{v}$ uitrekenen:
$\bar{v} = \frac{1}{2}v_{\text{begin}} + \frac{1}{2}v_{\text{eind}}$
Invullen:
$\bar{v} = \frac{1}{2} \cdot 0 + \frac{1}{2} \cdot 20$ m/s $= 10$ m/s.
Invullen in de formule voor de afstand *s*:
$s = 10$ m/s $\cdot$ 10 s $= 100$ m.
De eenheid klopt: de meter is de eenheid van afstand; 100 m lijkt een redelijke getalsgrootte (10 cm en 10 km zouden dat niet zijn).
Bij controle blijkt dat alle berekeningen goed zijn uitgevoerd.

Voorbeeld 2
Een auto heeft een snelheid van 54 km/h. Hij remt met een constante vertraging van 3,0 m/s^2. Bereken de remweg.
Gegevens:
$v_{\text{begin}} = 54$ km/h $= 15$ m/s.
$v_{\text{eind}} = 0$.
$a = -3{,}0$ m/s^2 (negatief omdat de snelheid afneemt).
Gevraagd: s (remweg).
Het is een beweging met constante versnelling (eenparig versnelde beweging). Daarbij hoort de formule:
$s = \bar{v} \cdot \Delta t$
Gegevens invullen gaat nog niet, want je weet $\bar{v}$ en Δt nog niet.
Dus moet je andere formules gebruiken om $\bar{v}$ en Δt uit te rekenen.
$\bar{v} = \frac{1}{2}v_{\text{begin}} + \frac{1}{2}v_{\text{eind}}$:
Invullen:
$\bar{v} = \frac{1}{2} \cdot 15$ m/s $+ \frac{1}{2} \cdot 0 = 7{,}5$ m/s.
$a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

$$-3{,}0 = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Als we Δv weten, kunnen we hiermee Δt uitrekenen.
$\Delta v = v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}} = 0 - 15$ m/s $= -15$ m/s.
Invullen:

$$-3{,}0 = \frac{-15}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{-15}{-3} = 5{,}0 \text{ s}$$

Nu de waarden van $\bar{v}$ en Δt invullen in de formule voor s:
$s = 7{,}5$ m/s $\cdot$ $5{,}0$ s $= 37{,}5$ m.
Denk weer aan de controle.

1 Wat betekent een constante snelheidsverandering?

2 Een bloempot valt uit een raamkozijn van de achtste etage van een flatgebouw. De afstand van het raamkozijn tot de grond is 20 meter. De versnelling van de zwaartekracht is 9,8 m/s^2 (want s is in 2 cijfers nauwkeurig). Er is geen wrijving.
Met welke snelheid treft de bloempot de grond?

3 Een supertanker (massa 600 000 ton = 600 000 000 kg) vaart met een snelheid van 36 km/h. Bij nadering van een haven gaat hij afremmen tot stilstand met een vertraging van 0,0010 m/s^2.
a Hoe groot is de beginsnelheid in m/s?
b Bereken de remkracht.
c Bereken de remweg.

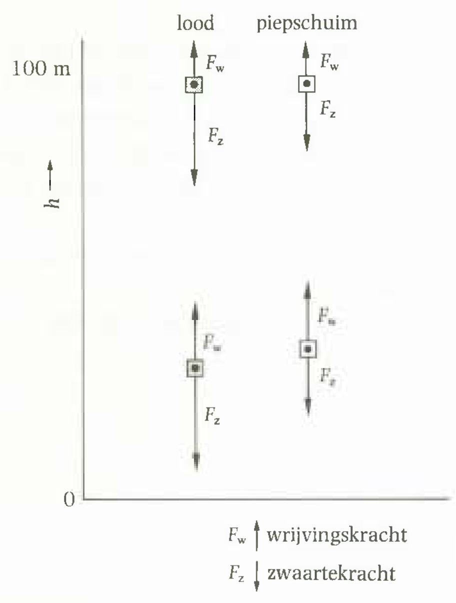
4 Een auto rijdt op een snelweg met 90 km/h. De bestuurder geeft 'plankgas' en gaat meteen naar de linker weghelft om een andere auto in te halen. De snelheid loopt in 10 s op tot 108 km/h. Daarna blijft de snelheid constant. De andere auto is ingehaald na 30 s.
a Leg uit waarom de auto na 30 s niet meteen weer naar de rechter weghelft kan.
b Hoe lang heeft de auto met een constante snelheid van 108 km/h gereden voordat de andere auto was ingehaald?
c Bereken de totale afstand die de auto in 30 s op de linkerbaan heeft gereden.

Blok 14

H2 Vallen

Een vallend voorwerp ondervindt twee krachten: de zwaartekracht en de wrijvingskracht.
De zwaartekracht veroorzaakt bij elk vallend voorwerp een regelmatige toename van de snelheid. In het luchtledige is er geen luchtwrijving. Daar vallen een blok lood en een veertje met dezelfde snelheid.
In de praktijk hebben we vrijwel altijd te maken met luchtwrijving. Deze werkt tegen de zwaartekracht in. De wrijvingskracht neemt toe als de snelheid toeneemt (er moet immers in dezelfde tijd meer lucht verplaatst worden). Op een gegeven moment zullen die twee krachten elkaar opheffen (d.w.z.: tegengesteld en even groot zijn). We zeggen dan dat de *resultante* (of: *resulterende kracht*) nul is.
Het voorwerp blijft dan wel doorvallen, maar de snelheid neemt niet meer toe. De maximale valsnelheid is afhankelijk van de vorm van het voorwerp en van de (soortelijke) massa van het voorwerp. Een blok lood en een even groot blok piepschuim zullen direct na het loslaten even snel vallen. Bij het blok piepschuim zal de wrijvingskracht van de lucht echter sneller gelijk zijn aan de zwaartekracht dan bij het veel zwaardere blok lood. De eindsnelheid van het blok lood wordt daardoor groter dan de eindsnelheid van het blok piepschuim (figuur 15).

fig. 15



De valversnelling

Op het strookje van een tijdtikker behorend bij een vrije val van een zwaar voorwerp zien we een aantal stippen staan. De onderlinge afstand tussen de stippen wordt steeds groter. De tijdsduur tussen twee stippen noemen we een *interval*. Een interval duurt bij de meeste tijdtikkers 1/50 seconde (= 0,020 s). Als we de gemiddelde snelheid steeds over twee intervallen (= 0,040 s) uitrekenen, zien we in de tabel van figuur 16 dat de snelheid regelmatig toeneemt.

Als we de luchtwrijving verwaarlozen, hebben we bij een vallend voorwerp alleen nog te maken met de zwaartekracht. De zwaartekracht veroorzaakt dan een regelmatige snelheidstoename. Dat wil zeggen: bij elke gelijke tijdsduur neemt de snelheid met hetzelfde bedrag toe. Aangezien de tijdsduur tussen twee stippen steeds hetzelfde is, moet de snelheid waarmee de strook door de tijdtikker werd getrokken, inderdaad regelmatig groter zijn geworden.

fig. 16

lengte van twee intervallen	afstand (in m)	tijd (in s)	gem. snelheid (in m/s)	snelheidstoename (in m/s)
1	0,020	0,04	0,500	
2	0,035	0,04	0,875	0,375
3	0,050	0,04	1,250	0,375
4	0,065	0,04	...	...
5	0,080	0,04	...	...
6	0,095	0,04	...	...

1 Neem de tabel over en bereken de ontbrekende getallen.

2 De snelheidstoename van 0,375 m/s vindt plaats in 0,040 seconde.
Bereken de snelheidstoename in 1,0 seconde.

3 De snelheidstoename in figuur 16 is lager dan de officiële waarde.
Geef hiervoor twee oorzaken.

4 Een voorwerp valt van een toren. Het bereikt in 4 s de grond.
Bereken de snelheid waarmee het voorwerp de grond treft.

5 Een voorwerp bereikt met een snelheid van 20 m/s de grond.
Bereken de valtijd.

6 Op de maan valt een voorwerp van een bepaalde hoogte. Na 5,0 s treft het de maanbodem met een snelheid van 8,0 m/s.
Bereken de valversnelling op de maan (in 2 cijfers nauwkeurig dus!).

Door de zwaartekracht neemt de valsnelheid met 9,8 m/s per seconde toe. De snelheidsverandering per seconde wordt in de natuurkunde *versnelling* genoemd. Daarom zeggen we dat de valversnelling 9,8 m/s per s bedraagt of beter 9,8 m/s^2 (uitspreken als meter per secondekwadraat).
Het symbool voor de valversnelling is de letter g.
Kort opgeschreven: $g = 9{,}8\ m/s^2$.
Meestal gebruiken we de afgeronde waarde van 10 m/s^2.
Verwaarloos de luchtwrijving.

Met de formule:
$s = \bar{v} \cdot \Delta t$
kunnen we de valafstand of hoogte niet rechtstreeks berekenen. Hiervoor gebruiken we een formule die daarvan is afgeleid:
$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2$
Met deze formule kun je de valafstand s berekenen als je de valtijd t kent en omgekeerd, zie de volgende voorbeelden.

Voorbeeld 1

We laten een steen vallen van een hoge toren. De steen treft na 4 s de grond. Neem $g = 10\ m/s^2$ en verwaarloos de luchtwrijving.
Bereken de hoogte van de toren.
Oplossing:
Met de formule
$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2$
kunnen we de hoogte van de toren direct berekenen:
$s = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4^2 = 80\ m.$

Voorbeeld 2

Een monteur laat van een flat een zwaar stuk gereedschap vallen. De valhoogte is 45 m.
Bereken de valtijd.
Oplossing:
We gebruiken weer de formule:
$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2$
$45 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$
$45 = 5 \cdot t^2 \Rightarrow t^2 = \frac{45}{5} = 9 \Rightarrow t = 3\ s.$

Verwaarloos de wrijving bij de volgende vragen.

fig. 17

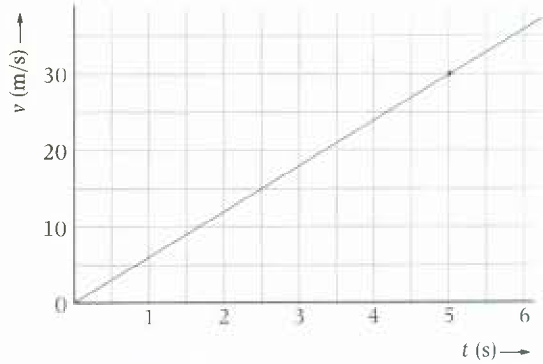
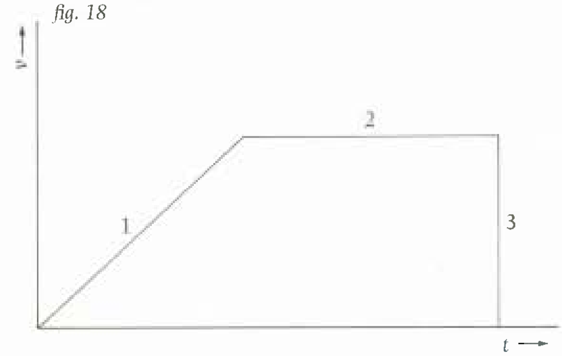


fig. 18



7 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.

8 Op de planeet Jupiter laat men uit het ruimteschip een meetinstrument vallen. De hoogte van de bodem tot het ruimteschip bedraagt 2,04 m. $g = 25{,}5\ m/s^2$.
a Bereken de valtijd.
b Bereken de snelheid waarmee het voorwerp op Jupiter terechtkomt.

9 Bereken uit het diagram van fig. 17 de versnelling.

10 Wat gebeurt er met de snelheid in het diagram van figuur 18
a in deel 1 van de grafiek?
b in deel 2 van de grafiek?
c in deel 3 van de grafiek?

E1 Extra opgaven

In deze extrastof ga je de theorie uit blok 14 toepassen in een aantal situaties die moeilijker zijn dan de opgaven die je in de werkbladen bent tegengekomen. Van belang bij het oplossen van deze problemen is:
- Maak voor jezelf een goede voorstelling van de situatie (maak eventueel een tekening).
- Noteer de gegevens met de juiste symbolen en eenheden overzichtelijk bij elkaar.
- Zoek een formule op waarmee je het gevraagde zou kunnen berekenen.
- Komt er in die formule, behalve de gevraagde grootheid, nog een onbekende grootheid voor, zoek dan naar een manier (bijvoorbeeld een andere formule) om die onbekende grootheid te berekenen.
- Ga na of het uiteindelijk door jou gevonden antwoord een realistisch getal is (200 m/s als snelheid van een auto is duidelijk *niet* realistisch).

1 *Wielrenners.*
Een groepje wielrenners rijdt met een constante snelheid van 8,0 m/s. Op t = 0,0 s demarreert een renner. Gedurende 10 seconden levert hij een *extra* kracht van 20 N. De totale massa van de renner + fiets bedraagt 80 kg (de luchtwrijving blijft constant).
Bereken de voorsprong van de gedemarreerde wielrenner op zijn achtervolgers na 10 seconden.

2 *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 te voren beginnen te remmen.
Bereken de gemiddelde remkracht die de tanker na 20 km tot stilstand brengt.

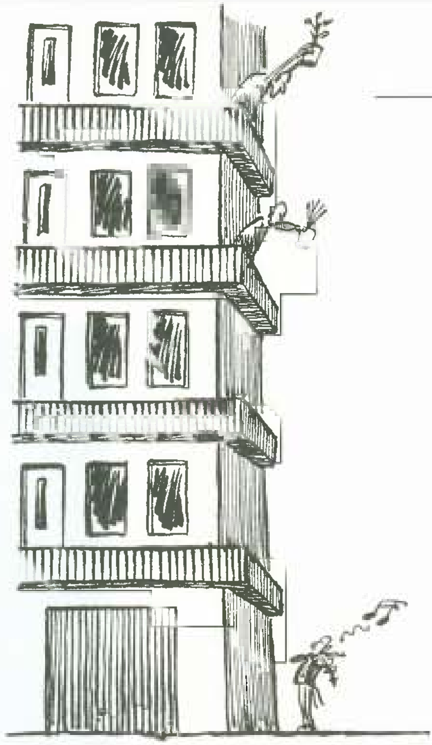
3 *Voetbal.*
Een voetbal met een massa van 0,500 kg ligt op de middenstip.
De bal wordt langs de grond weggeschoten in de richting van het doel. De voet oefent gedurende 0,040 seconde een kracht van 200 N uit op de bal.
Het gras oefent een gemiddelde wrijvingskracht uit van 1,6 N. De afstand middenlijn-achterlijn bedraagt 45 meter (figuur 19).
Toon met een berekening aan dat de bal stilligt, voordat hij de achterlijn bereikt heeft.

fig. 19

4 *Omhooggooien.*
Marjan gooit een bal (0,4 kg) de lucht in met een beginsnelheid van 8,0 m/s. Wrijvingskrachten mogen worden verwaarloosd.
a Welke kracht zorgt ervoor dat de bal steeds langzamer gaat stijgen?
b Hoe groot is die kracht?
c Hoe groot is de snelheid van de bal op zijn hoogste punt?
d Bereken na hoeveel seconden de bal het hoogste punt bereikt.
e Bereken de maximale 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 'dame' bloempot A zonder beginsnelheid naar beneden vallen (figuur 20).
Precies op datzelfde moment gooit een bewoner van een flat op de vierde etage (12,0 m hoog) bloempot B met een bepaalde beginsnelheid loodrecht omlaag. Bloempot B bereikt na 1,2 s de grond (waarbij de violist op een haar na wordt geraakt). Ook bloempot A mist doel en valt op de grond. Wrijvingskrachten op de bloempotten verwaarlozen we. (Tijd maar in 2 cijfers nauwkeurig, dus g = 9,8 m/s^2.)
a Laat met een berekening zien dat bloempot A later de grond raakt dan B.
b Bereken de snelheid waarmee bloempot A de grond raakt.
c Bereken de beginsnelheid waarmee bloempot B is omlaag geworpen.
d Bereken de snelheid waarmee bloempot B de grond raakt.
e Waarom krijgt bloempot A de grootste snelheidsverandering tijdens zijn val?

fig. 20



Blok 14

E2 De horizontale worp

In deze extrastof ga je de baan onderzoeken van een voorwerp dat horizontaal wordt weggegooid (figuur 21).
Je kunt natuurlijk zelf wat ballen gaan wegwerpen en daarbij kijken langs welke baan ze op de grond komen.
Er is een betere manier om de baan van een horizontaal weggeworpen bal of kogel nauwkeurig te bepalen, door gebruik te maken van een apparaatje waarmee een kogel horizontaal kan worden weggeschoten en waarbij tegelijkertijd een tweede kogel wordt losgelaten (figuur 22).
Misschien hebben jullie op school een ander toestel.
Belangrijk is alleen dat met het toestel één kogel horizontaal wordt weggeschoten (kogel 1). Op precies hetzelfde moment wordt dan een andere kogel losgelaten, zodat deze verticaal naar beneden valt (kogel 2).
Plaats het toestel zo hoog mogelijk, zet het op een statief bij de rand van de tafel, zodat beide kogels op de vloer terecht kunnen komen. Zorg er bovendien voor dat kogel B precies horizontaal wordt weggeschoten.
Door goed te luisteren kun je horen of de kogels gelijktijdig de grond raken. Noteer wat je hoort: één tik of twee.

fig. 21

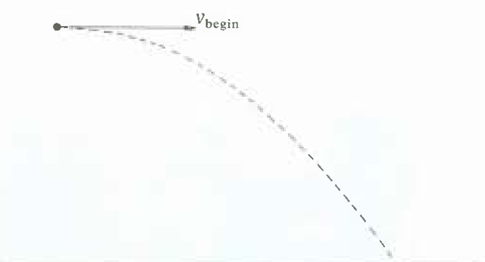


fig. 22
Toestel val en worp.

1 Als je de proef goed hebt uitgevoerd en als je goed hebt geluisterd, hoorde je de beide kogels tegelijk op de vloer komen. Klopt dit met jouw waarneming?

2 Welke conclusie kun je uit deze proef trekken?

Om de baan van kogel 1 te bepalen, hebben we de stroboscopische foto (figuur 23) van beide kogels overgetekend in het diagram figuur 24.

3 Maak aan de hand van wat je in de proef hebt gezien, een schets van de baan van de kogel.

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).

4 Wat voor soort beweging voert kogel 2 uit?

5a Wat valt je op aan de afstanden die kogel 1 in horizontale richting aflegt (dus in de richting van de x-as)?

b Wat voor soort beweging doorloopt kogel 1 in horizontale richting?

6 Langs de y-as van het diagram kun je de hoogte van kogel 1 aflezen. Vergelijk op dezelfde tijdstippen de hoogten van kogel 1 en van kogel 2.

a Wat valt je hierbij op?

b Wat voor soort beweging voert kogel 1 uit in verticale richting?

7 Laat (thuis) een waterstraal uit een horizontaal gerichte tuinslang komen (figuur 26).

a Schets de baan van de waterstraal.

Vergelijk je schets met de baan van de horizontaal weggeschoten kogel.

b Wat valt je op?

Een stroboscoop is een grote elektronische flitser waarvan je de frequentie kunt regelen (figuur 25). Stroboscopische foto's maak je in het donker met een tijdopname (lens blijft gedurende de gehele beweging open staan). Tijdens de opname wordt de frequentie van de flitser constant gehouden waardoor elk interval even lang duurt.

fig. 23
Stroboscopische foto van vallende kogels. Elk interval duurt even lang.

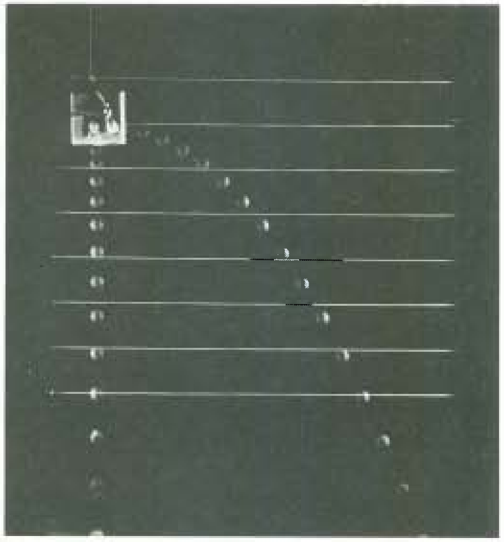


fig. 24

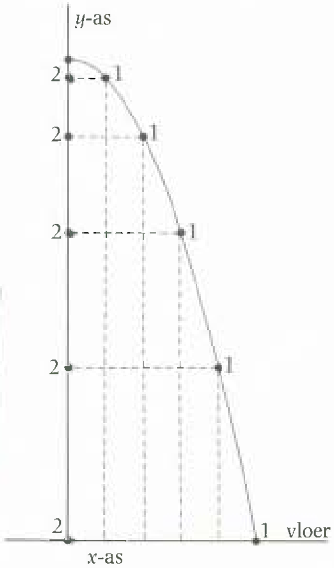


fig. 25
Stroboscoop.

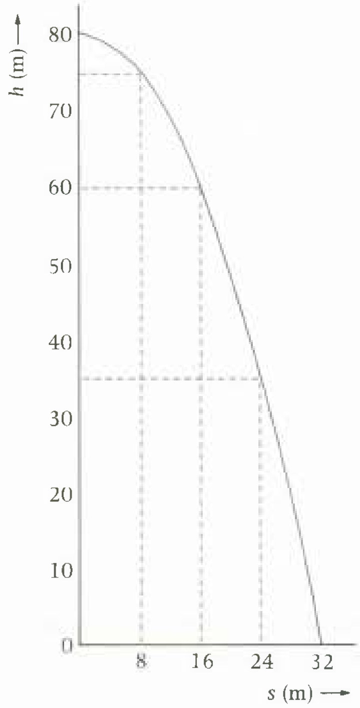
fig. 26

Samenvatting
a de beweging langs de x-as is eenparig (dus met een constante snelheid gelijk aan de beginsnelheid).
b de beweging langs de y-as is eenparig versneld (een constante verticale versnelling, zonder beginsnelheid in verticale richting).
Met behulp van het bovenstaande kunnen we met de formules uit dit blok de baan berekenen van een in horizontale richting weggeschoten of weggeworpen voorwerp.

Voorbeeld
Vanaf een flat wordt van 80 m hoogte een bal in horizontale richting weggeworpen met een beginsnelheid van 8 m/s. (Maar in één cijfer nauwkeurig, dus neem $g = 10\ m/s^2$). Verwaarloos de luchtwrijving.
a Bereken de plaats waar de bal de grond raakt.
b Teken in een diagram de baan van de bal.

Oplossing:
a De beweging van de bal kunnen we opsplitsen in een horizontaal deel en een verticaal deel. De bal zal in horizontale richting blijven bewegen met een constante snelheid van 8 m/s, want er werkt geen kracht in de horizontale richting. In de verticale richting valt de bal eenparig versneld met de valversnelling $10\ m/s^2$. De valtijd in verticale richting kunnen we berekenen met:
$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2$
$80 = 5 \cdot t^2 \Rightarrow t^2 = 16 \Rightarrow t = 4$ s.
Na 4 seconden treft de bal de grond. De beweging in de horizontale richting duurde dus óók 4 seconden. Nu kunnen we de verplaatsing in de horizontale richting berekenen met de formule:
$s = v \cdot t = 8\ m/s \cdot 4\ s = 32$ m.
De bal komt op 32 m afstand van de flat op de grond terecht.
b Op de y-as zetten we de valhoogte uit en op de x-as de verplaatsing in de horizontale richting. De horizontale verplaatsing na 4 seconden weten we al: 32 m. We weten dus het beginpunt en het eindpunt van de baan. Als we vervolgens na elke seconde valtijd de valhoogte en de verplaatsing in horizontale richting berekenen, kunnen we de complete baan schetsen.
Na 1 s is de bal gevallen:
$s = \frac{1}{2}g \cdot t^2 = 5 \cdot 1^2 = 5$ m.
De bal is dus 5 m gedaald en bevindt zich daardoor op een hoogte van 75 m. De horizontale verplaatsing is na 1 s: $8 \cdot 1 = 8$ m.
Na 2 s is de totale valafstand 20 m en de horizontale verplaatsing 16 m (reken dit na).
Na 3 s vinden we voor de valafstand 45 m en voor de horizontale verplaatsing 24 m. In het diagram van figuur 27 zien we de baan getekend.

fig. 27
Diagram van een horizontale worp.



In de volgende opgaven moet je zelf met de formules uit het blok rekenen aan de kromme banen bij de horizontale worp.
Bepaal in de opgaven 8 t/m 13 zelf de juiste waarde van de valversnelling en verwaarloos de luchtwrijving.

8 We laten vanaf het dak van een flatgebouw een bal vallen. Na 4 s bereikt de bal de grond. Hoe hoog is het flatgebouw?

9 Een voorwerp beweegt met een eenparige snelheid van 5,0 m/s in horizontale richting. Welke afstand legt het voorwerp in 8,0 s af?

10 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?

11 Op hoeveel meter van de kasteelmuur komt de kogel op de grond terecht als het kanon op 20 m boven de grond staat opgesteld en de kogel wordt afgevuurd met een horizontale snelheid van 200 m/s?

12 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. Met welke snelheid is de bal weggeworpen?

13 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.

Blok 14

E3 Reactietijd meten

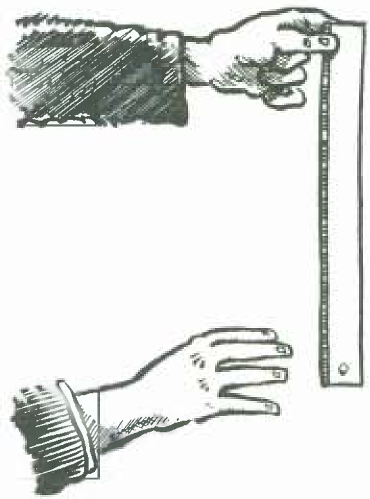


fig. 28

We hebben in T3 al gezien dat de reactietijd van verkeersdeelnemers van groot belang kan zijn. De tijd waarna men reageert kan zelfs bepalen of er al dan niet een aanrijding plaats zal vinden.
Je gaat in deze extrastof op drie manieren je reactietijd bepalen.

A We nemen een liniaal van 30 of 50 cm lengte. Op ongeveer 1 cm afstand van de muur houdt een medeleerling deze liniaal vast (figuur 28). Je houdt je duim of je vinger 1 cm vóór de onderkant van de liniaal. Op een willekeurig moment laat je partner de liniaal los, zodat deze gaat vallen. Jij probeert de liniaal nu zo snel mogelijk na het begin van de val tegen de wand te drukken. Door de afstand die de liniaal gevallen is te meten, kun je berekenen hoe groot jouw reactietijd is. Als je nauwkeurig wilt meten, moet je de meting een aantal keren herhalen en het gemiddelde nemen van de afstanden waarover de liniaal is gevallen.
Deze proef kun je herhalen door nu niet met je duim de liniaal vast te drukken, maar met je voet. Je moet bij deze proef op tafel gaan staan of zitten. Je partner moet dan de onderzijde van de liniaal gelijk houden met de bovenkant van je schoen.
Is er verschil tussen de reactietijd van duim en voet?

Je kunt de situatie bij het gaspedaal van een auto benaderen door de voorkant van je rechtervoet rechts van de liniaal tegen de muur te duwen. Als de liniaal valt, moet je met de hak van je rechtervoet proberen de liniaal vast tegen de muur te duwen.

B Een tweede manier om de reactietijd te meten is de volgende.
Je steekt een strookje papier in de tijdtikker. Je trekt het strookje langzaam door de tijdtikker omlaag. Je partner zet de tijdtikker aan, zonder dat jij dat kunt zien. Je laat de papierstrook los op het moment dat je de tijdtikker hoort. Aan de hand van het aantal stippen op de strook kun je aflezen wat je reactietijd is. De tijdtikker zet 50 of 100 stippen per seconde. Vraag het juiste aantal eventueel aan je leraar.
Herhaal de meting een paar maal en bepaal je reactietijd uit het gemiddelde van je metingen.

C Een derde manier om de reactietijd te bepalen gaat met een elektronische klok. De klok moet met behulp van twee schakelaars bediend kunnen worden. De ene schakelaar om de klok te starten, de andere schakelaar om de klok te stoppen. Je partner zet de klok ongemerkt aan en jij zet hem uit zodra je de klok ziet lopen.
Aan de hand van deze meting weet je direct de reactietijd. Herhaal deze meting ook een aantal keren, zodat je door middelen eventuele toevalligheden zoveel mogelijk uitsluit.

Is je reactietijd in alle situaties even groot?