

Inleiding

In dit blok krijg je een overzicht van de volledige examenstof. Iedere paragraaf begint met T-stof, waarin per onderwerp wordt aangegeven in welke blokken (van deel 3 mhv en deel 4 m) dat onderwerp is behandeld. Als je meer wilt weten, moet je dat in je theorieboek opzoeken. Per onderwerp is er ook W-stof, waarin de stof nog eens wordt geoefend. Na de opgaven vind je steeds aanwijzingen per vraagonderdeel onder de titel 'Hulp'. Als je een opgave niet kunt maken, word je daar met aanwijzingen op weg geholpen.

Als je wilt controleren of je de opgaven goed hebt gemaakt, kun je aan je leraar een uitwerking van de vraagstukken vragen.

Aan het einde van dit blok tref je een overzicht van contextonderwerpen, gerangschikt naar de in T1 tot en met T6 herhaalde leerstof. Opgaven over deze onderwerpen kunnen je op het examen worden voorgelegd.

Blok 24

Herhaling

Basisstof

T1 Mechanica 216

W1 225

T2 Geluid 228

W2 229

T3 Vaste stoffen, vloeistoffen en gassen 231

W3 235

T4 Energie 237

W4 239

T5 Optica 241

W5 245

T6 Atoombouw, elektriciteit en magnetisme 247

W6 253



De mechanica is behandeld in de blokken 14, 20, 21 en 23.

Beweging

Een voorwerp dat beweegt, verandert van plaats. De snelheid van een voorwerp dat met constante snelheid beweegt is: de afstand die dat voorwerp in één seconde aflegt. De eenheid van snelheid is m/s of km/h.

$$1 \text{ km/h} = 1000 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 0,28 \text{ m/s.}$$

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h.}$$

Als je de *gemiddelde snelheid* moet berekenen van een voorwerp dat *niet* met constante snelheid bewoog, deel je de afstand waarover het voorwerp zich verplaatst heeft door de tijd die daarvoor nodig was.

Een beweging kun je onderzoeken met:

- een tikkerstrook (figuur 1);
- een stroboscopische foto (figuur 2);
- een luchtkussenbaan (figuur 3).

fig. 1
Een tikkerstrook.



fig. 2
Een stroboscopische foto.

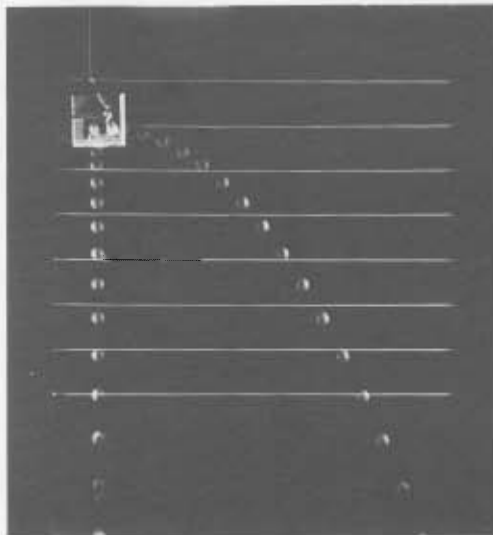


fig. 3a
Een luchtkussenbaan.

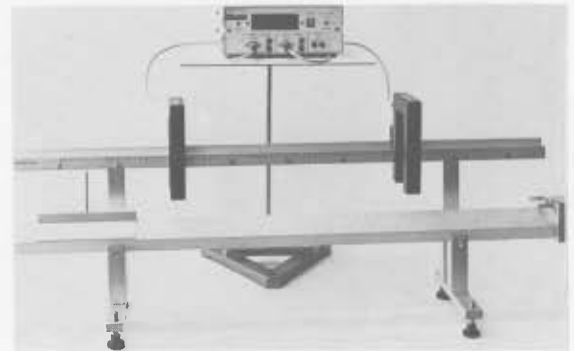
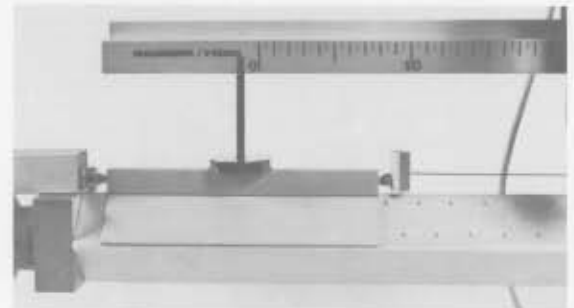


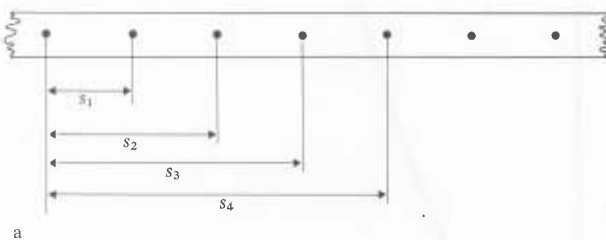
fig. 3b
Een wagentje voor de lucht-
kussenbaan.



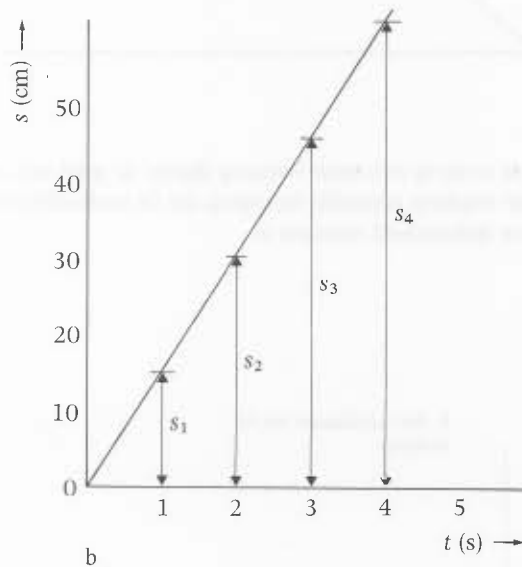
Met de metingen die je doet kun je een *plaats-tijddiagram* of (s,t) -diagram tekenen. Het (s,t) -diagram in figuur 4b is het diagram van een beweging met constante snelheid, waarvan je in figuur 4a de tikkerstrook ziet.

De punten van het (s,t) -diagram vind je door op je tikkerstrook (of op de stroboscopische foto) steeds de totale afstand op te meten (van het begin tot het betreffende punt). In figuur 4a zijn dat de afstanden s_1 , s_2 , s_3 enzovoort. Het tijdstip waarop een stip is gezet, kun je berekenen als je weet hoeveel stippen er per seconde werden gezet.

fig. 4
a De tikkerstrook van een beweging met constante snelheid.



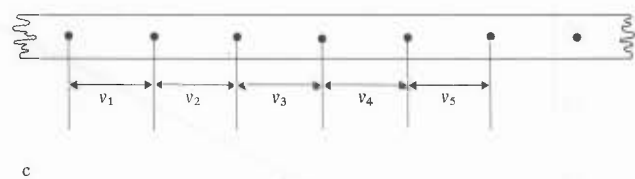
b Het (s,t) -diagram van deze beweging.



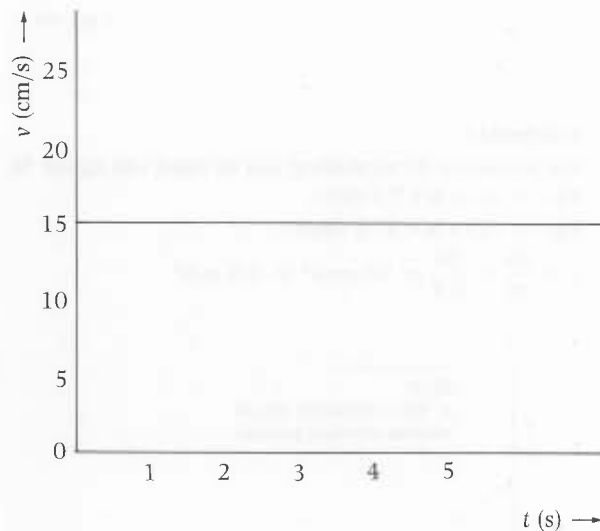
Als je de afstand tussen twee punten op een tikkerstrook meet (figuur 4c), kun je hiermee de gemiddelde snelheid over die afstand uitrekenen.

Met de gemiddelde snelheid kun je een *snelheid-tijddiagram* of (v,t) -diagram tekenen. In figuur 4d zie je het (v,t) -diagram van de beweging, waarvan in figuur 4b het (s,t) -diagram is getekend.

c Het bepalen van de gemiddelde snelheid met behulp van de tikkerstrook.



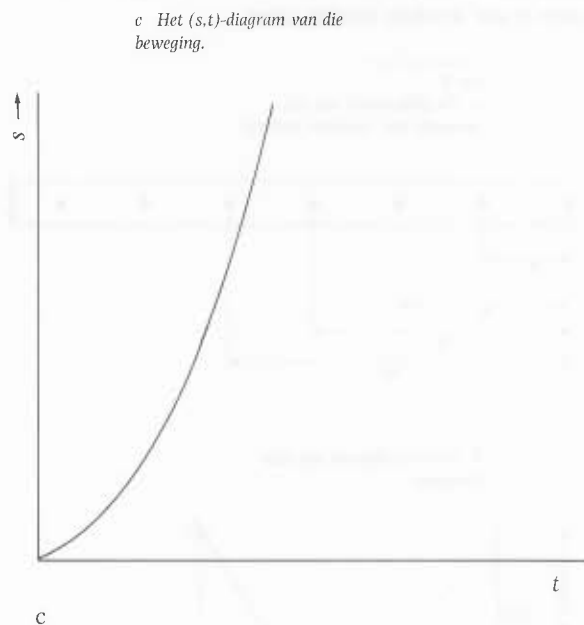
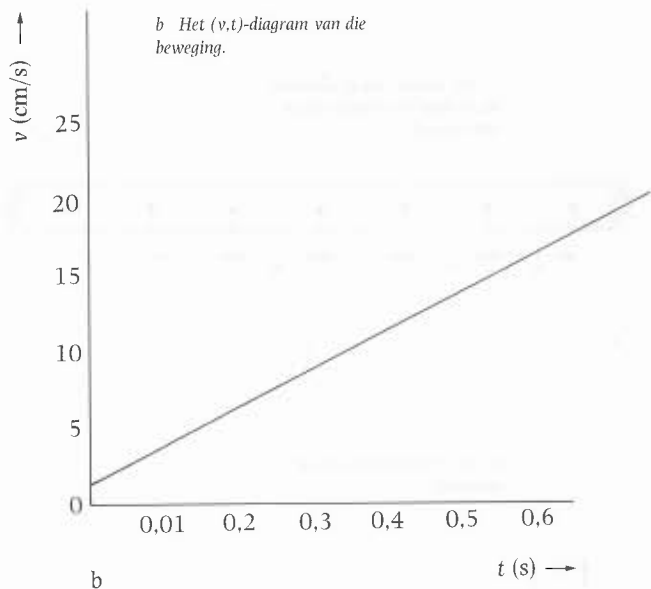
d Het (v,t) -diagram van de beweging.



Een versnelde beweging is een beweging waarbij de snelheid toeneemt. De toename van de snelheid per seconde heet de *versnelling*. Als de versnelling constant blijft, is er sprake van een *eenparig versnelde beweging*. Van zo'n beweging zijn in de figuren 5a, 5b en 5c de tikkerstrook, het (v,t) -diagram en het (s,t) -diagram getekend. Het (v,t) -diagram van een eenparig versnelde beweging is een rechte lijn. Uit het (v,t) -diagram kun je de (constante) versnelling van het voorwerp bepalen.

fig. 5

a De tikkerstrook van een eenparig versnelde beweging.



Voorbeeld 1

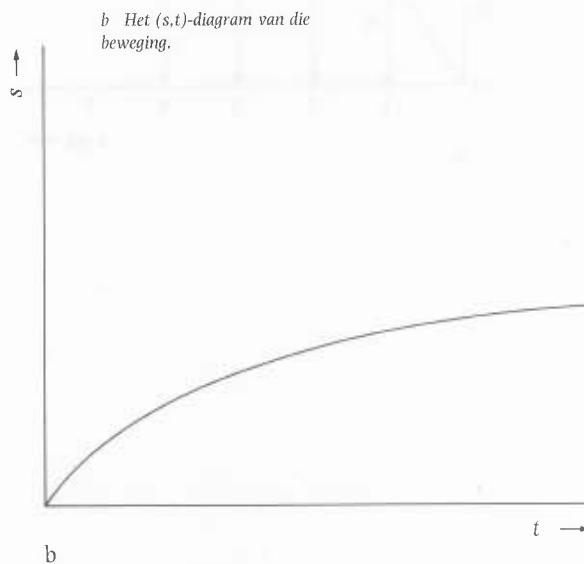
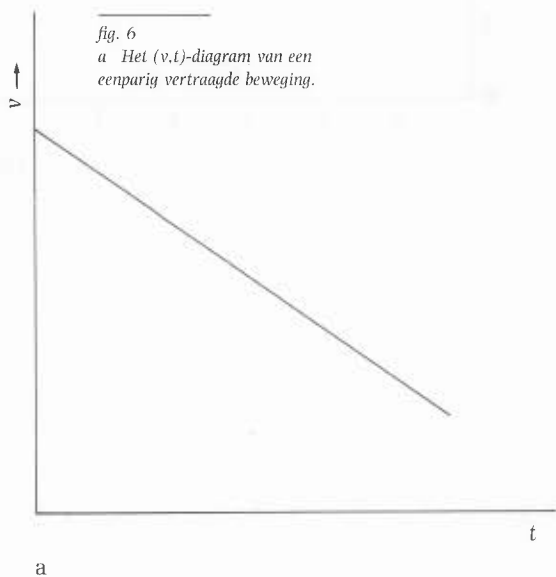
We berekenen de versnelling aan de hand van figuur 5b.

Op $t = 0,1$ s is $v = 7,5$ cm/s.

Op $t = 0,5$ s is $v = 27,5$ cm/s.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20}{0,4} = 50 \text{ cm/s}^2 = 0,5 \text{ m/s}^2.$$

Voor de *eenparig vertraagde beweging* (figuur 6) geldt net als voor de eenparig versnelde beweging dat de snelheidsverandering per tijdseenheid constant is.



Een beweging is lang niet altijd zo regelmatig als een eenparig versnelde of een eenparige beweging. Als je een tikkerstrook met de hand door het tikkerapparaat trekt, krijg je meestal een willekeurige beweging. In het (s,t) -diagram van zo'n beweging (figuur 7) kun je op elk tijdstip de plaats aflezen, zodat je de gemiddelde snelheid tussen twee tijdstippen kunt berekenen.

Voorbeeld 2

We berekenen de gemiddelde snelheid tussen twee tijdstippen aan de hand van figuur 7.

Als $t = 4$ s is $s = 5$ m.

Als $t = 6$ s is $s = 9$ m.

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{(9 - 5)}{2} = 2 \text{ m/s.}$$

Bijzondere bewegingen

De valbeweging

Als je een voorwerp laat vallen, gaat dat voorwerp steeds sneller bewegen. Het voorwerp heeft een constante versnelling. Voor alle voorwerpen is de versnelling tijdens de val (als we de luchtweerstand verwaarlozen) even groot.

De versnelling van een vrij vallend voorwerp is $9,8 \text{ m/s}^2$. We ronden dit meestal af tot 10 m/s^2 .

De cirkelbeweging

Een voorwerp dat een cirkelbeweging maakt, doorloopt een cirkelvormige baan. De snelheid waarmee het voorwerp de cirkel doorloopt, heet de omtreksnelheid (of baansnelheid).

Bij apparaten met tandwielen wordt – in plaats van de baansnelheid – ook gesproken over het *toerental* (het aantal omwentelingen per minuut) en de *overbrengingsverhouding*.

De *omlooptijd* (T) is de tijdsduur (in seconden) van één omwenteling.

De *omloopfrequentie* (f) is het aantal omwentelingen per seconde.

De overbrengingsverhouding is de verhouding tussen het toerental n_2 van de (aan)gedreven as en het toerental n_1 van de (aan)drijvende as.

$$\text{Er geldt: } \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} \text{ én } \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

Daarin is:

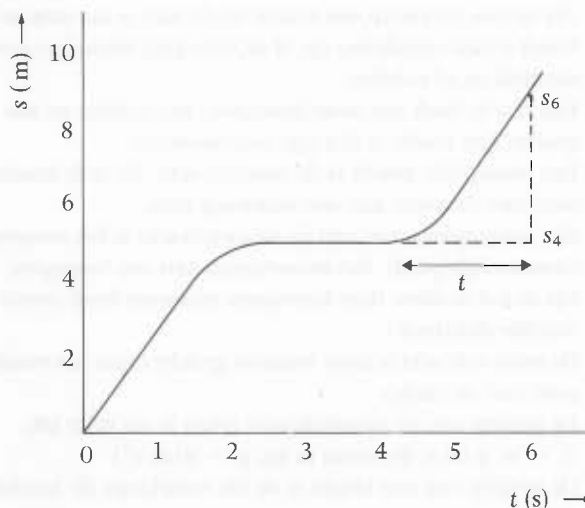
d_1 de diameter van het (aan)drijvende wiel;

d_2 de diameter van het (aan)gedreven wiel;

z_1 het aantal tanden van (aan)drijvende tandwiel;

z_2 het aantal tanden van het (aan)gedreven wiel.

fig. 7
Het (s,t) -diagram van een willekeurige beweging.



De ketting van een fiets zorgt ervoor dat de beweging van het grote tandwiel (voor) overgebracht wordt naar het kleine tandwiel (achter). De snelheid van de ketting is overal gelijk aan de omtreksnelheid van het tandwiel voor. Omdat de ketting niet slipt, brengt hij de snelheid over naar het tandwiel achter. Het tandwiel achter heeft dus dezelfde omtreksnelheid als het tandwiel voor. Omdat het tandwiel achter kleiner is dan het tandwiel voor, is het toerental van dit tandwiel groter dan het toerental van het tandwiel voor.

Als je van een wiel de diameter d en het toerental n weet, kun je de *omtreksnelheid* (v) op de volgende manier berekenen.

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

De afstand per omwenteling is $\pi \cdot d$ (dit is omtrek van de cirkel).

De tijd voor één omwenteling is $\frac{60}{n}$

$$\text{Dus: } v = \frac{\pi \cdot d}{\frac{60}{n}}$$

$$\Rightarrow v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \Rightarrow v = \frac{\pi \cdot d}{T} \Rightarrow v = \pi \cdot d \cdot f$$

Krachten

Als op een voorwerp een kracht werkt kun je dat zien: er treedt vormverandering op, óf de beweging verandert van snelheid en/of richting.

Een kracht heeft een *aangrijpingspunt*, een *richting* en een *grootte*. Een kracht is dus een *vectorgrootte*.

Een belangrijke kracht is de *zwaartekracht*. Dit is de kracht waarmee de aarde aan een voorwerp trekt.

Het aangrijpingspunt van de zwaartekracht is het *zwaartepunt* (massamiddelpunt). Het zwaartepunt van een homogene balk ligt in het midden. (Een homogeen voorwerp heeft overal dezelfde dichtheid.)

De zwaartekracht is naar beneden gericht (naar het middelpunt van de aarde).

De grootte van de zwaartekracht reken je als volgt uit:

$$F_z = m \cdot g \quad (m \text{ is de massa in kg, } g = 10 \text{ m/s}^2).$$

De *werklijn* van een kracht is de lijn waarlangs die kracht werkt.

Enkele soorten krachten zijn: spierkracht, veerkracht, zwaartekracht, wrijvingskracht, magnetische kracht en elektrische kracht.

Als in een punt meer krachten werken, kun je de *resultante* (F_r) van deze krachten bepalen door de krachten als vectoren op te tellen met behulp van de *parallellogramconstructie*. In figuur 8 is dat voor twee krachten voorgedaan.

Als de hoek tussen twee krachten 90° is, kun je met de stelling van Pythagoras de resultante berekenen.

Je kunt ook andersom werken: als een kracht bekend is, kun je die kracht ontbinden in twee componenten (figuur 9). Je moet dan een parallellogram tekenen met de gegeven kracht als diagonaal.

Als een voorwerp langs een rechte lijn beweegt en de snelheid verandert niet van grootte en/of richting, heffen de krachten die op het voorwerp werken elkaars werking op (er kan dan nog wél vervorming zijn). De resultante van de krachten op dat voorwerp is dan 0 N. Deze situatie doet zich

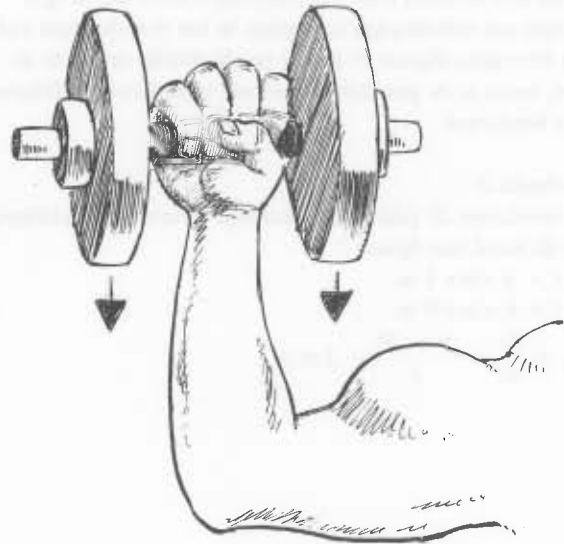
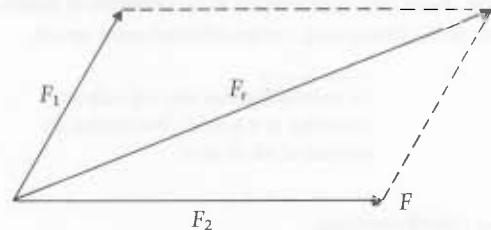


fig. 8
Het optellen van twee vectoren met de parallellogramconstructie.



voor bij een luchtkussenbaan (figuur 10). De slede 'drijft' op de lucht die uit de gaatjes omhoog wordt geperst. De kracht die de lucht omhoog uitoefent, heft de zwaartekracht op. De wrijving is te verwaarlozen.

fig. 9
Het ontbinden van een kracht in twee componenten.

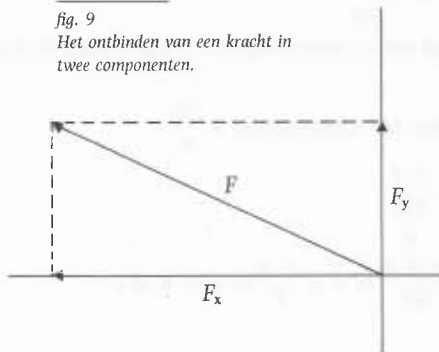
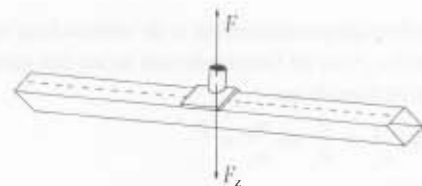


fig. 10
Een luchtkussenbaan. De verticale krachten heffen elkaar op.



Als een voorwerp in rust is, is het vaak eenvoudig om de krachten te berekenen die erop werken. De snelheid van een voorwerp in rust verandert immers niet, dus de som van de krachten die op het voorwerp werken is dan 0 N. Er zijn twee voorbeelden van een voorwerp in rust die je moet kennen.

1 Een voorwerp staat op de grond. De zwaartekracht werkt omlaag; de vloer oefent een even grote kracht omhoog uit: de *normaalkracht* (F_n).

2 Een voorwerp hangt aan een touw. De zwaartekracht werkt omlaag; het touw oefent een even grote kracht omhoog uit: de *spankracht* (F_s).

Twee rekenvoorbeelden van voorwerpen in rust:

Voorbeeld 1

Een voorwerp met een massa van 5,0 kg staat op de grond (figuur 11).

$$F_z = m \cdot g \Rightarrow F_z = 5,0 \cdot 10 = 50 \text{ N (omlaag gericht).}$$

$$F_n = 50 \text{ N (omhoog gericht).}$$

Voorbeeld 2

Een voorwerp met een massa van 5,0 kg hangt aan twee touwen (figuur 12).

$$F_z = m \cdot g = 50 \text{ N (omlaag gericht).}$$

Teken nu $F_r = F_{s1} + F_{s2} = 50 \text{ N}$, omhoog gericht. Met de parallelogramconstructie vind je dan F_{s1} en F_{s2} .

Een andere bijzondere kracht die je moet kennen is de *opwaartse kracht* F_{opw} (blok 20 T3).

Een voorwerp in een vloeistof ondervindt een opwaartse kracht die gelijk is aan het gewicht van de verplaatste vloeistof (wet van Archimedes).

De resulterende kracht op het voorwerp is het verschil tussen F_z en F_{opw} . Er zijn drie mogelijkheden (figuur 13):

- de dichtheid van het voorwerp is groter dan de dichtheid van de vloeistof. De zwaartekracht op het voorwerp is dan groter dan de opwaartse kracht: $F_z > F_{opw}$; het voorwerp *zinkt*.
- de dichtheid van het voorwerp is gelijk aan de dichtheid van de vloeistof: $F_z = F_{opw}$; het voorwerp *zweeft*. De resulterende kracht is 0 N.
- de dichtheid van het voorwerp is kleiner dan de dichtheid van de vloeistof: het voorwerp *drijft*. Bij evenwicht geldt: $F_z = F_{opw}$. Een deel van het drijvende voorwerp steekt dan

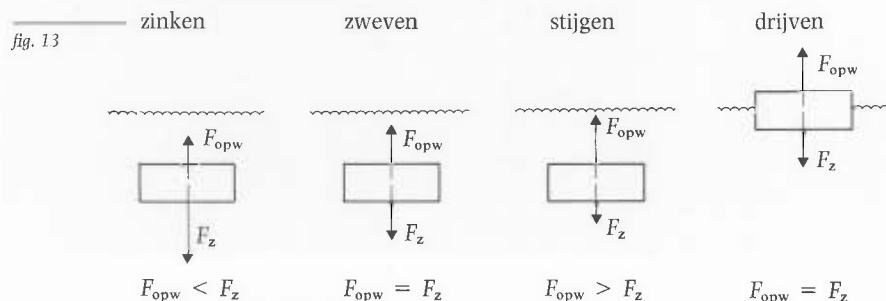


fig. 11

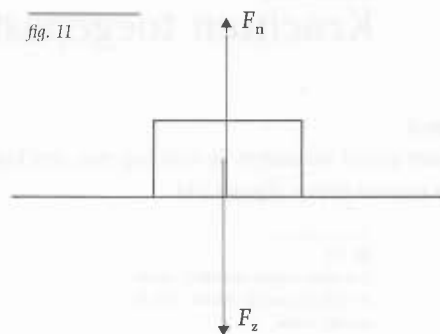
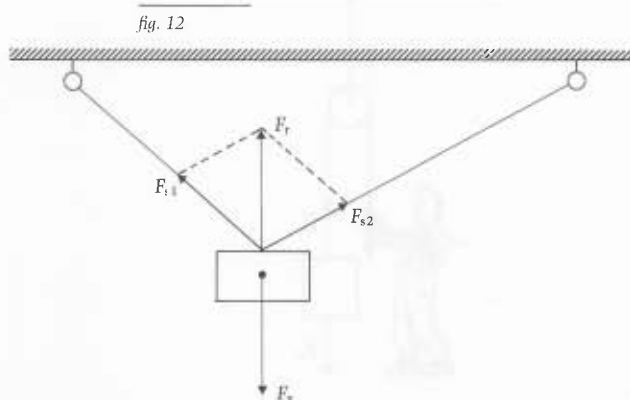


fig. 12



boven de vloeistof uit, zodat er minder vloeistof wordt verplaatst en de resulterende kracht op het voorwerp 0 N wordt.

Als op een voorwerp meer krachten werken en deze krachten heffen elkaar niet op, veranderen de grootte en/of de richting van de snelheid. De snelheidsverandering heeft dezelfde richting als de resultante van de krachten.

Een voorbeeld hiervan is een botsing tegen een muur. Een auto botst met een snelheid v tegen een muur en staat na de botsing stil. De grootte van de tegenwerkende kracht F tijdens de botsing hangt af van:

- de snelheid van de auto (hoe groter v , hoe groter F);
- de tijdsduur Δt van de botsing (hoe groter Δt , hoe kleiner F);
- de afstand die tijdens de botsing wordt afgelegd bij het indeuken (hoe groter s , hoe kleiner F).

De veiligheidsvoorzieningen (kreukelzone, veiligheidsgordel) proberen Δt en s zo groot mogelijk te maken.

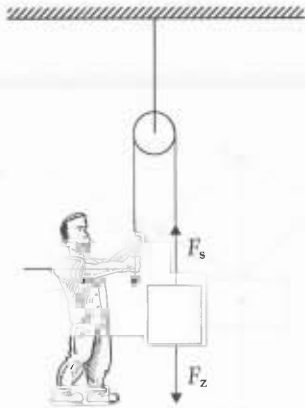
Krachten toegepast in apparaten

De katrol

Een vaste katrol verandert de richting van een kracht, maar niet de grootte ervan (figuur 14).

fig. 14

Een vaste katrol verandert alleen de richting van de kracht, niet de grootte ervan.



De hefboom

Een hefboom is een voorwerp met een draaipunt en twee armen; één arm waarop je kracht uitoefent en één arm waarmee de kracht op een ander voorwerp wordt uitgeoefend. Bij een hefboom is de grootte van de krachten meestal verschillend.

Als je moet berekenen of een hefboom in evenwicht is, moet

je werken met het *moment* (M) van de kracht (blok 21 T1 en T2).

Er geldt:

$$M = F \cdot d.$$

Daarin is M het moment, F de kracht en d de arm van de kracht. De arm van de kracht is de loodrechte afstand van het draaipunt tot aan de werklijn van de kracht.

De eenheid van moment is Nm. (Nm mag je hier *niet* vervangen door J (joule), omdat de richtingen van F en d loodrecht op elkaar staan.)

Het moment van een kracht is *positief* als de kracht voor een *draaiing linksom* (tegen de klok in) zorgt.

Het moment van een kracht is *negatief* als de kracht voor een *draaiing rechtsom* (met de klok mee) zorgt (figuur 15).

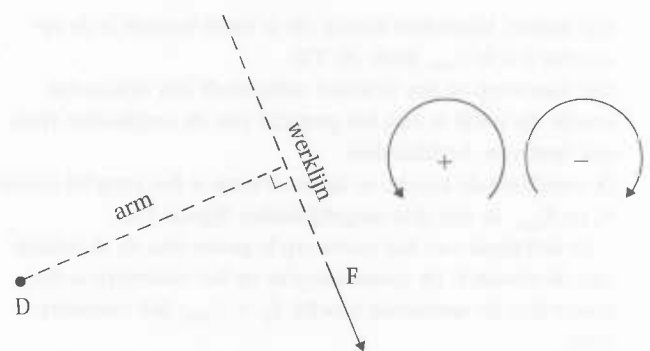
Een hefboom is in evenwicht als de som van de momenten van de krachten die op de hefboom werken nul is. Je kunt ook zeggen: bij evenwicht is de som van de momenten die voor een draaiing linksom zorgen even groot als de som van de momenten die voor een draaiing rechtsom zorgen.

in formule: $\Sigma M = 0$

Ofwel: $M_1 + M_2 + M_3 + \dots = 0$.

fig. 15

Moment = kracht \times arm.



Krachten kunnen arbeid verrichten: energie

Als een kracht voor een verplaatsing zorgt, verricht de kracht *arbeid*.

De grootte van de arbeid bereken je met:

$$W = F \cdot s.$$

Daarin is W de arbeid, F de kracht en s de verplaatsing.

De eenheid van arbeid is Nm. (Hier mag je wel Nm door J vervangen, want F en s hebben dezelfde werklijn!)

De arbeid is *positief* als de kracht en de verplaatsing dezelfde richting hebben.

De arbeid is *negatief* als de kracht en de verplaatsing tegengesteld gericht zijn.

Anneke trekt een slee met constante snelheid over een horizontale weg.

Hierbij moet ze een kracht van 40 N uitoefenen. Ze legt 50 m af.

De arbeid die Anneke bij deze verplaatsing verricht, bereken je als volgt.

$$F = 40 \text{ N}, s = 50 \text{ m}.$$

$$W_{\text{Anneke}} = F \cdot s = 40 \cdot 50 = 2000 \text{ Nm} = 2000 \text{ J} = 2,0 \text{ kJ}.$$

De arbeid die de wrijvingskracht verricht, kun je als volgt berekenen: De snelheid is constant, dus $F_w = -F = -40 \text{ N}$. (De wrijving werkt tegen.)

$$\text{Dus: } W_w = -40 \cdot 50 = -2000 \text{ Nm} = -2,0 \text{ kJ}.$$

F_z en F_n verrichten geen arbeid want de weg is horizontaal; F_z en F_n staan dus loodrecht op s , en kunnen dus géén component in de richting van s bezitten.

Iemand bezit energie als hij in staat is om arbeid te verrichten. Als je arbeid verricht, wordt jouw chemische energie (afkomstig uit voedsel) omgezet in een andere soort van energie. Dit kan zijn:

- warmte-energie (je overwint een wrijvingskracht);
- bewegingsenergie (je vergroot de snelheid van een voorwerp);
- zwaarte-energie (je tilt een voorwerp op).

Onder de *mechanische energie* verstaan we de som van de bewegingsenergie (kinetische energie: $E_k = \frac{1}{2} mv^2$) en de zwaarte-energie ($E_z = m \cdot g \cdot h$).

De mechanische energie is constant als op een voorwerp alleen de zwaartekracht werkt.

Dus: $E_z + E_k = \text{constant}$, of:

$$(E_z + E_k)_{\text{voor}} = (E_z + E_k)_{\text{na}}$$

Voorbeeld

Een kogel wordt vanaf een hoogte van 100 m loodrecht omhoog geschoten met een snelheid van 40 m/s. De massa van de kogel is 2,0 kg. De luchtweerstand mag je verwaarlozen.

Vragen:

a Hoe hoog komt de kogel?

b Hoe groot is de snelheid van de kogel als hij op de grond komt?

Oplossing:

Voor de mechanische energie ($E_k + E_z$) van de kogel geldt bij de start:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot (40)^2 = 1600 \text{ J}$$

$$E_z = mgh = 2,0 \cdot 10 \cdot 100 = 2000 \text{ J} \Rightarrow$$

$$E_{\text{tot}} = E_k + E_z = 1600 + 2000 = 3600 \text{ J}.$$

Er is geen wrijving, dus de mechanische energie blijft steeds even groot.

Op het hoogste punt is de snelheid van de kogel 0 m/s, zodat

$$E_k = 0 \text{ J}.$$

$$E_{\text{tot}} = E_z = 3600 \text{ J}; mgh = 3600 \text{ J} \Rightarrow$$

$$2,0 \cdot 10 \cdot h = 3600 \Rightarrow$$

$$h = \frac{3600}{20} = 180 \text{ m}.$$

De kogel bereikt dus een hoogte van 180 m.

Op de grond geldt $h = 0 \text{ m}$, dus $E_z = 0 \text{ J}$.

$$E_{\text{tot}} = E_k = 3600 \text{ J} \Rightarrow \frac{1}{2} mv^2 = 3600 \text{ J} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot v^2 = 3600 \Rightarrow$$

$$v^2 = 3600 \Rightarrow v = 60 \text{ m/s}.$$



Formules, grootheden en eenheden

Formules

- 1 $\Delta s = s(t) - s(0)$ (verplaatsing)
- 2 $v_{\text{gem}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ (snelheid)
- 3 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (versnelling)
- 4 $F = m \cdot a$
- 5 $F \cdot \Delta t = m \cdot (v_e - v_b)$ of $v(t) = v(0) + at$ (v_e is de eindsnelheid; v_b is de beginsnelheid; $v(t)$ is de snelheid op tijdstip t en $v(0)$ is de snelheid op tijdstip 0)
- 6 $F \cdot \Delta s = \frac{1}{2} m \cdot (v_e^2 - v_b^2)$ of $s_t = v(0)t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$
- 7 $v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = \pi \cdot d \cdot f$ (omtreksnelheid of baansnelheid bij een cirkelbeweging); d is de diameter, n is het toerental
- 8 $n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$ en $n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$ (d is de diameter en z is het aantal tanden van een tandwiel; $\frac{n_2}{n_1}$ is de overbrengingsverhouding)
- 9 $p = \frac{F}{A}$ (druk)
- 10 $W = F \cdot s$ (arbeid)
- 11 $P = \frac{W}{t}$ (vermogen)
- 12 $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ (bewegingsenergie)
- 13 $E_z = mgh$ (zwaarte-energie)
- 14 $M = F \cdot d$ (moment van kracht F)

Grootheden en eenheden

Grootheid	Eenheid
Δs verplaatsing	m
v snelheid	m/s
t tijdstip	s
Δt tijdsduur	s
a versnelling	m/s ²
F kracht	N (newton)
d diameter	m
n toerental	per min
p druk	Pa (pascal); mbar
A oppervlakte	m ²
W arbeid	Nm = J (joule)
P vermogen	W (watt)
E energie	J
g valversnelling	m/s ²
h hoogte	m
M moment	Nm
d arm (loodrechte afstand)	m

Contexten bij Mechanica

Verkeer en vervoer

- Rijden, optrekken, remmen, botsen, trekken van aanhangers, kiepen van aanhangers, systemen van overbrenging, versnellingsbak, overbrengingsverhouding.
- Veiligheidsvoorschriften (autogordel, bromfietshelm, kreukelzone, hoofdsteun).
- Verkeerslawaaï, energiegebruik.

Krachten om ons heen

- Krachten in constructies (bruggen, hijskranen, laadbomen); handgereedschap (notekraker, flesopener, nijptang, katrol, koevoet enzovoort).
- Veiligheid (stevigheid en stabiliteit).
- Materiaalkeuze, vormkeuze.

Energievoorziening op grote schaal

- Omzetting van energie.

Werktuigen en machines

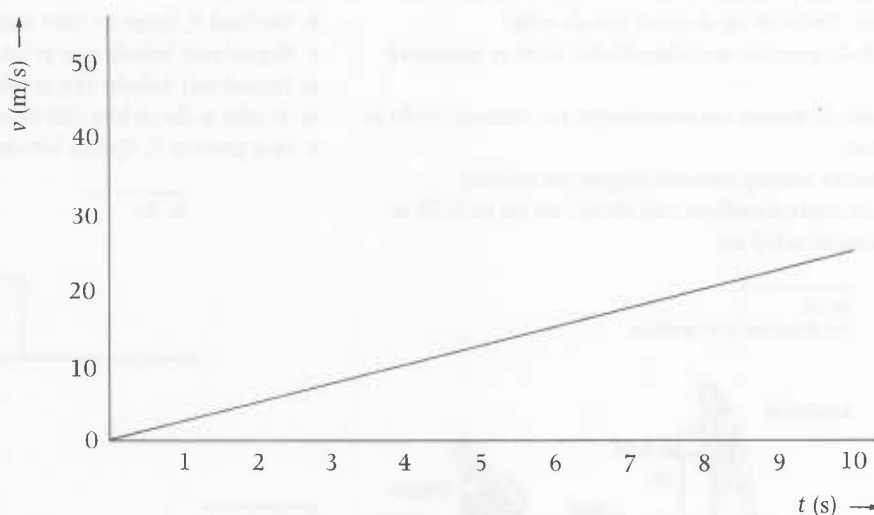
- Gebruik en onderhoud.
- Veilig en gezond werken met machines en werktuigen.

1 Een testauto

Van een testauto wordt tijdens het optrekken van 0 tot 90 km/h de snelheid als functie van de tijd gemeten. In de testauto zit een computer voor de verwerking van de meetgegevens. Uit de computer 'rolt' een (v,t) -diagram (figuur 16).

- Reken de eindsnelheid van de auto (90 km/h) om naar m/s.
- Bereken de afstand die de auto nodig heeft om een snelheid van 90 km/h te bereiken. Neem daarbij aan dat de auto een constante versnelling heeft. De massa van de auto met chauffeur is 900 kg.

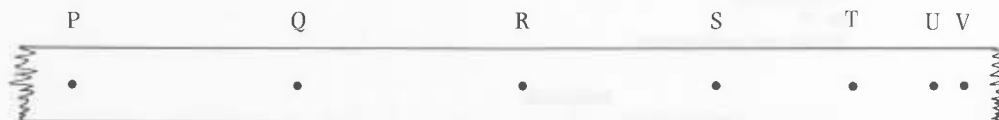
fig. 16
Het (v,t) -diagram van de testauto.



2 Een tikkerstrook

In figuur 17 zie je op ware grootte een tekening van een papierstrook uit een tijdtikker. De tijdtikker zet om de 0,02 s een stip op de strook (dat is 50 stippen per seconde). De strook was bevestigd aan een rijdend wagentje. Het wagentje had een constante snelheid voordat het bij punt R begon te remmen. De laatste stip werd gezet op het moment

fig. 17
Een tikkerstrook.



3 Remmen

Jan leest in een artikel dat de remvertraging van zijn bromfiets minimaal 5 m/s^2 moet zijn. Hij wil controleren of de remmen van zijn bromfiets aan die eis voldoen. Bij een snelheid van $7,5 \text{ m/s}$ begint hij te remmen. Jan meet hoelang het duurt voordat hij stilstaat. Hij rekent vervolgens uit dat zijn brommer precies aan de minimale eis voldoet.

c Bereken de kracht die de motor moet leveren. (De wrijving mag je verwaarlozen.)

d Leg uit of de kracht van de motor groter of kleiner is als je wél rekening houdt met de wrijving.

De wrijving die de auto ondervindt is 1500 N.

e Bereken de arbeid die de wrijving tijdens de test heeft verricht.

f Bereken hoeveel de chemische energie van de auto tijdens deze test is afgenomen.

dat het wagentje tot stilstand kwam. Het remmen gebeurde met een constante vertraging.

a Teken het (s,t) -diagram van de beweging van het wagentje.

b Schets het (v,t) -diagram van het wagentje.

c Bereken de remvertraging van het wagentje.

a Bereken de afstand die Jan bij het remmen heeft afgelegd. Nu neemt Jan zijn vriendin achterop. De remkracht is nog steeds even groot.

b Beredeneer of de brommer van Jan nu nog steeds aan de eis voldoet. Gebruik bij je uitleg een formule.

4 Een stuiterbal

Maartje laat een stuiterbal van een hoogte van 0,8 m loodrecht omlaag vallen. De luchtwrijving mag je verwaarlozen.

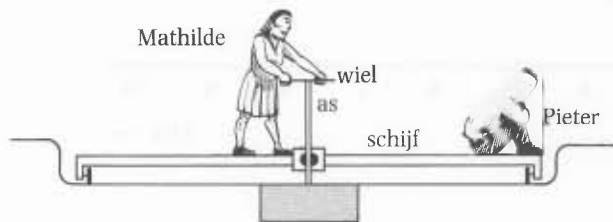
- Bereken de snelheid waarmee de stuiterbal de grond bereikt. De bal stuut verticaal omhoog tot 0,6 m boven de grond.
- Hoe komt het dat de bal niet tot 0,8 m omhoog stuut? De massa van de bal is 10 g.
- Bereken de zwaarte-energie die de bal heeft op 0,6 m hoogte.
- Bereken met welke snelheid de bal van de grond omhoog stuitte.

5 Een draaischijf

In een speeltuin staat een draaischijf. Je kunt de schijf rond-draaien door op de schijf te gaan staan en aan een 'wiel' te trekken (figuur 18).

- Mathilde staat op de schijf en trekt aan het wiel. De schijf gaat draaien. Pieter zit op de rand van de schijf.
- Wie heeft de grootste omtreksnelheid? Licht je antwoord toe.
 - Wie maakt de meeste omwentelingen per minuut? Licht je antwoord toe.
- Mathilde maakt twintig omwentelingen per minuut.
- Bereken de omtreksnelheid van Pieter, als hij op 0,75 m van de as van de schijf zit.

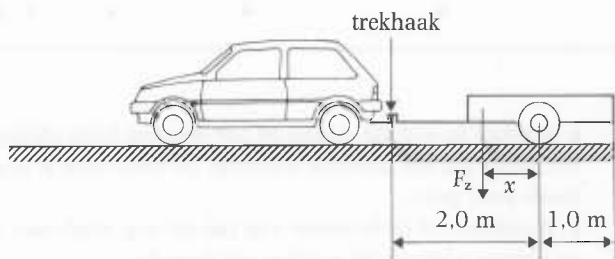
fig. 18
Een draaischijf in de speeltuin.



6 Een aanhangwagen

Een auto met aanhangwagen staat stil. De zwaartekracht op de aanhangwagen is 1500 N. De aanhangwagen oefent een kracht uit van 150 N op de trekhaak (figuur 19; deze figuur is niet op schaal).

fig. 19
Een auto met aanhangwagen.



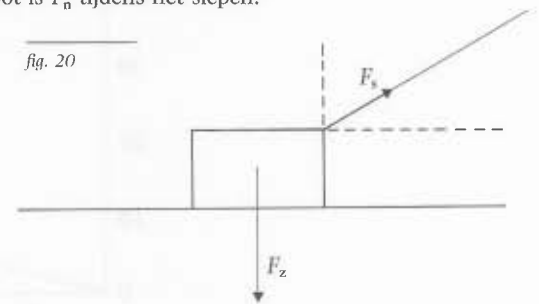
- Hoe groot is de kracht die de trekhaak uitoefent op de aanhangwagen? Het zwaartepunt van de aanhangwagen ligt op een afstand x voor de wielas.
- Maak een schets van de aanhangwagen en geef daar in aan:
 - de krachten die op de aanhangwagen werken;
 - de krachterschaal;
 - het draaipunt D.
- Bereken x .

7 Een kist wegslepen

Henk moet een kist met een massa van 50 kg wegslepen. Hij bindt een touw aan de kist, legt dat over zijn schouder en trekt met een kracht $F_s = 100$ N (figuur 20). De kist schuift met constante snelheid over de vloer.

- Teken figuur 20 nauwkeurig na en zet er de krachterschaal bij.
- Ontbind F_s langs de twee stippellijnen.
- Bepaal met behulp van je tekening hoe groot F_w is.
- Bepaal met behulp van je tekening hoe groot de resulterende kracht is die de kist tijdens het slepen op de vloer uitoefent.
- Hoe groot is F_n tijdens het slepen?

fig. 20



8 Snel de trap op

Hilke heeft een massa van 40 kg. Ze kan in 6,0 s op een trap 5,0 m hoger komen.

- Welke energieomzetting vindt er plaats als Hilke omhoog loopt?
- Bereken het nuttig vermogen dat Hilke hierbij ontwikkelt.

Hulp

1 Een testauto

a $90 \text{ km/h} = 90\,000 \text{ m in } 3600 \text{ s}$.

b Uit de grafiek lees je af dat er 10 s voor nodig is. De beginsnelheid is 0 m/s. Je kunt de gemiddelde snelheid nu berekenen.

c $F \cdot \Delta t = m(v_e - v_b)$; $t = 10 \text{ s}$; $m = 900 \text{ kg}$; $v_e = 25 \text{ m/s}$; $v_b = 0 \text{ m/s}$.

d De wrijving werkt tegen!

e $W = F \cdot s$; $F = 1500 \text{ N}$; $s = 125 \text{ m}$ (antwoord op vraag b).

f Chemische energie wordt omgezet in bewegingsenergie en warmte-energie (er is wrijving).

Dus: $E_{\text{ch}} = E_k + Q$.

Q volgt uit het antwoord op vraag e; $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ met $m = 900 \text{ kg}$ en $v = 25 \text{ m/s}$.

2 Een tikkerstrook

Het wagentje remt af, dus de stippen komen steeds dichterbij elkaar te liggen. Je moet de strook van P naar V lezen.

a Voor de verplaatsing moet je steeds de afstand van P tot een punt meten. Maak een tabel:

punten	tijd (s)	afstand (cm)
PP	0,00	0,0
PQ	0,02	3,0
PR	0,04	6,0
PS enzovoort.

b Tot 0,04 s beweegt de auto met constante snelheid. Die snelheid kun je berekenen met de metingen uit a. Daarna is de beweging vertraagd, totdat het wagentje op $t = 0,12 \text{ s}$ (bij punt V) stil staat.

c $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$; $\Delta v = 150 \text{ cm/s} = 1,5 \text{ m/s}$ (berekend bij b).

Het duurt 0,08 s voordat het wagentje stilstaat (van 0,04 s tot 0,12 s).

3 Remmen

a Jan moet 1,5 s remmen om tot stilstand te komen. Zijn gemiddelde snelheid is $\frac{1}{2} \cdot 7,5 = 3,75 \text{ m/s}$.

b De massa en de remtijd zijn groter (F blijft gelijk).

$F \cdot \Delta t = m(v_e - v_b)$.

4 Een stuitbal

a E_z wordt omgezet in E_k , dus E_z (boven) = E_k (op de grond). Ofwel: $mgh = \frac{1}{2}mv^2$. Je kunt beide leden door m delen; $g = 10 \text{ m/s}^2$; h is gegeven.

b Bij de botsing met de grond geldt blijkbaar niet de wet van behoud van mechanische energie. Wat gaat er bij de botsing 'verloren'?

c $E_z = mgh$; $m = 0,010 \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; $h = 0,60 \text{ m}$.

d Zolang de bal van de grond af is, geldt dat de mechanische energie steeds even groot is. Bij het omhoogstuiten wordt bewegingsenergie omgezet in precies evenveel zwaarte-energie.

5 Een draaischijf

a $v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$. De snelheid hangt af van de diameter van de cirkelbaan.

b De schijf is massief dus de omlooptijd van alle punten op de schijf is even groot.

c Pieter maakt dus ook twintig omwentelingen per minuut. De diameter van zijn baan is $2 \cdot 0,75 = 1,5 \text{ m}$.

6 Een aanhangwagen

a De kracht van de trekhaak op de aanhangwagen is even groot en tegengesteld aan de kracht van de aanhangwagen op de trekhaak.

b De aanhangwagen is een soort hefboom. Het wiel van de aanhangwagen is het draaipunt. Er werken twee krachten op de aanhangwagen: F_z naar beneden (op afstand x) en de kracht van de trekhaak (op afstand 2,0 m) omhoog.

c De som van de momenten moet 0 zijn, dus:

$$+F_z \cdot x - F_{tr} \cdot 2,0 = 0$$

$$F_z = 1500 \text{ N}; F_{tr} = 150 \text{ N}.$$

7 Een kist wegslepen

a $F_z = m \cdot g = 50 \cdot 10 = 500 \text{ N}$. $F_s = 100 \text{ N}$; krachten-schaal: $1 \text{ cm} \hat{=} 100 \text{ N}$.

b Parallelogramconstructie.

c De component van F_s langs de x-as is 87 N. F_s en F_w heffen elkaars werking op.

d Op de kist werken twee verticale krachten: F_z omlaag, de verticale component van F_s omhoog. De resultante van deze twee drukt op de grond.

Uit je tekening bepaal je dat de y-component van F_s 50 N is.

e De kracht die de grond op de kist uitoefent is even groot als de kracht die de kist op de grond uitoefent.

8 Snel de trap op

a Hilke zet chemische energie om. Ze krijgt het daar wel warm van.

b Nuttig is alleen de toename van haar zwaarte-energie. De tijd die daarvoor nodig is, is 6,0 s.

Geluid is behandeld in blok 13.

Geluid als trilling

Als een geluidsbron geluid maakt, geeft de lucht het als een trilling door naar een waarnemer (figuur 21). Het geluid heeft enige tijd nodig om deze afstand af te leggen. Dat merk je aan de echo. Je roept iets en het geluid wordt teruggekaatst. Als het geluid weer terug is hoor je hetzelfde geluid opnieuw.

Voorbeelden van geluidsbronnen zijn: stembanden, luidspreker, stemvork en muziekinstrumenten.
Voorbeelden van instrumenten om het geluid waar te nemen zijn: microfoon en oor.

De geluidssnelheid in lucht is ongeveer 340 m/s. Maar ook in andere stoffen kan geluid zich voortplanten. Zo is de geluidssnelheid in water 1484 m/s. Bij *sonar* (zie eventueel blok 13, E3 vraag 4) wordt gebruik gemaakt van de voortplanting van geluid in water.

Een andere toepassing van geluid vind je in de medische wereld. Met *echoscopie* kan (met ultrageluid) zonder gevaar een afbeelding gemaakt worden van een nog ongeborn kind. Ook andere organen (blaas, hart, nieren) worden vaak door echoscopie zichtbaar gemaakt, zodat het gebruik van schadelijke röntgenstralen zoveel mogelijk kan worden vermeden.

Ultrageluid is geluid waarvan de frequentie boven onze gehoorrens (circa 20 000 hertz) ligt.

Met een microfoon kunnen we geluid omzetten in een elektrisch signaal. Dit signaal kunnen we op een oscilloscoop zichtbaar maken. Dan blijkt dat een zuivere toon (bijvoorbeeld voortgebracht door een toongenerator of een stemvork) regelmatig is (figuur 23). Het beeld op de oscilloscoop herhaalt zich steeds.

fig. 23
Geluid kun je zichtbaar maken op een oscilloscoop.

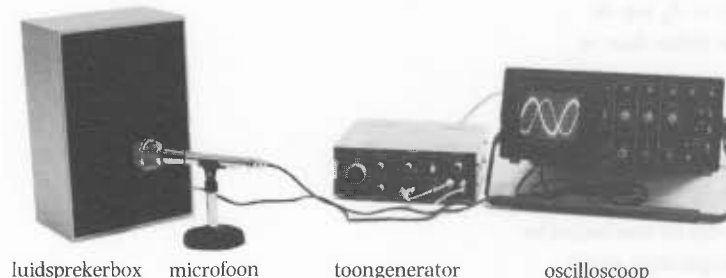


fig. 21
Geluid plant zich via een medium voort van bron naar waarnemer.



fig. 22
Een echoscoop.



Belangrijke grootheden zijn:

- de trillingstijd (de tijd die nodig is voor één trilling);
- de frequentie (het aantal trillingen per seconde);
- de amplitude (de maximale uitwijking).

Hoge tonen hebben een hoge frequentie (veel trillingen per seconde) en een korte trillingstijd. Het menselijke gehoor kan tonen tussen de 20 Hz en de 20 kHz (20 000 Hz) waarnemen. Hoe harder de toon, hoe groter de amplitude.

Een maat voor de geluidssterkte is de decibel (dB). Met een decibelmeter meet je de geluidssterkte. Naarmate je verder

van een geluidsbron af bent, is de geluidssterkte kleiner.

In de muziek speelt geluid een hoofdrol. Zo wordt bij snaar-instrumenten een snaar aangeslagen of aangestoken, waardoor deze gaat trillen en je een toon hoort. De hoogte van de toon hangt af van:

- de snaarlengte (hoe langer de snaar, hoe lager de toon);
- de snaarspanning (hoe strakker de snaar gespannen wordt, hoe hoger de toon);
- de massa van de snaar per lengte-eenheid (hoe groter die massa – dus hoe dikker de snaar – hoe lager de toon).

Formules, grootheden en eenheden

Formules

$$1 \Delta s = v_{\text{geluid}} \cdot t$$

$$2 f = \frac{1}{T} \text{ (frequentie)}$$

Grootheden en eenheden

Grootheid	Eenheid
Δs	verplaatsing m
v_{geluid}	geluidssnelheid m/s
t	tijd s
f	frequentie Hz (per s)
T	trillingstijd s

Contexten bij Geluid

Opnemen en weergeven van geluid

- Veiligheid en gezondheid (pijngrens, gehoorbeschadiging).
- Waarneming (gehoorkarakteristiek, gehoorgrenzen, toongenerator, decibelmeter).
- Eisen aan geluidsapparatuur (luidspreker, microfoon, muziekinstrumenten).
- Geluidsoverlast, geluidsisolatie, geluidswal, geluidsscherm.

Het menselijk lichaam

- Trommelvlies.
- Geluidsoverlast, gehoorbeschadiging.
- Echografie.

Blok 24

W2

1 De echoput

Iemand roept in een echoput. Na 1,5 s hoort hij de echo.

a Bereken hoe diep de put is.

Hij herhaalt de proef met een toon die een grotere amplitude heeft.

b Hoe verandert hierdoor de proef?

Tenslotte wordt een toon met een hogere frequentie gebruikt.

c Hoe verandert nu de proef?

2 Een microfoon

In figuur 24 is de frequentiekenarakteristiek van een microfoon getekend.

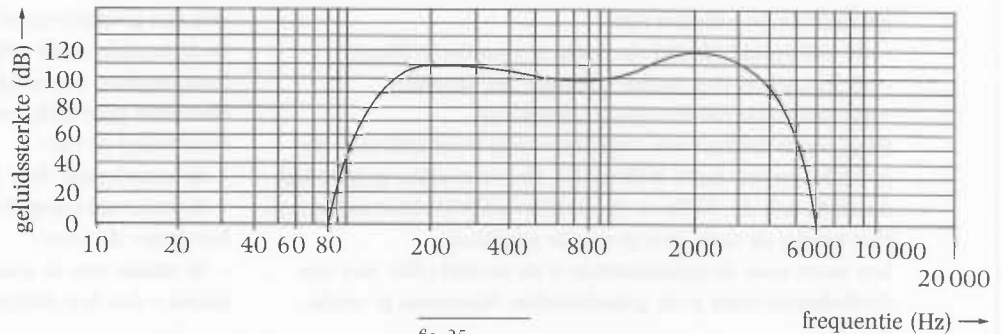
a Wat is de laagste toon die deze microfoon kan opnemen?

b Wat is de hoogste toon die deze microfoon kan opnemen?

c Geeft deze microfoon alle lage tonen weer die een mens kan horen?

d Geeft deze microfoon alle hoge tonen weer die een mens kan horen?

fig. 24
De frequentiecarakteristiek van een microfoon.



3 Een elastiekje

Els zit met een elastiekje te spelen. Ze houdt het elastiekje een beetje gespannen en tokkelt er op.

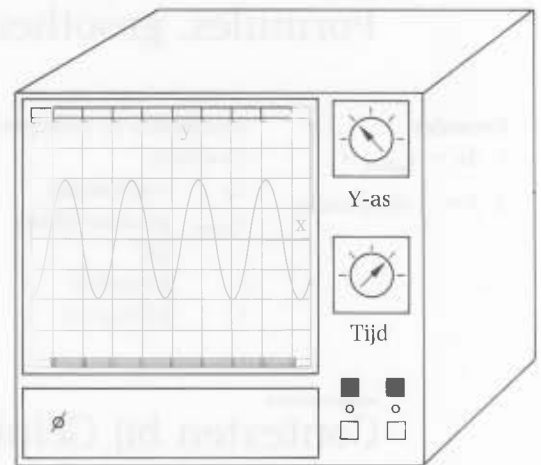
- Hoe verandert de toon als ze een korter elastiekje (even strak gespannen) tussen haar vingers houdt?
- Hoe kan Els de toon nu hoger maken?

4 Een geluidssignaal op de oscilloscoop

In figuur 25 zie je een oscilloscoopscherm waarop een geluidssignaal is afgebeeld. De instelling van de oscilloscoop is onder de figuur vermeld.

- Bereken de frequentie van het signaal. We maken (zonder de instelling van de oscilloscoop te veranderen) het signaal van een hardere én hogere toon zichtbaar.
- Hoe verandert hierdoor het beeld op de oscilloscoop?

fig. 25
Een geluidssignaal op de oscilloscoop.



X-as: 1 hokje \cong 0,001 s

Hulp

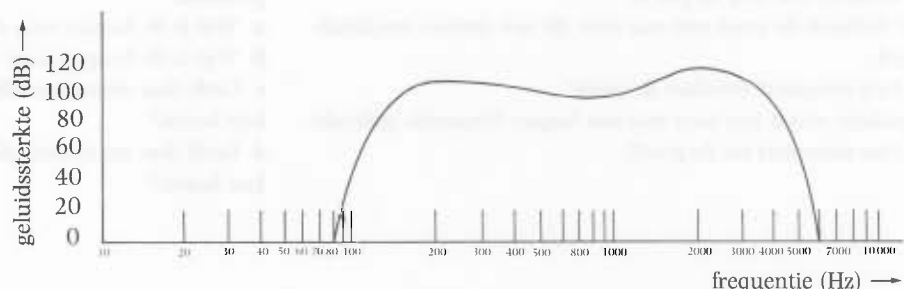
1 De echoput

- De geluidssnelheid is 340 m/s. Bedenk wel dat het geluid een afstand aflegt die gelijk is aan twee keer de diepte van de put!
- De geluidssnelheid verandert niet, wel de sterkte van de toon.
- De geluidssnelheid verandert niet, wel de hoogte van de toon.

2 Een microfoon

- In figuur 26 is de schaalverdeling van de frequentiecarakteristiek duidelijker weergegeven.
- Zie figuur 26.
- De laagste toon die een mens kan horen is 20 Hz.
- De hoogste toon die een mens kan horen is 20 000 Hz.

fig. 26
De schaalverdeling van de frequentiecarakteristiek uit figuur 24.



3 Een elastiekje

- Hoe hangt de toonhoogte af van de lengte van de snaar?
- Els kan de spanning veranderen, en ze kan de lengte van het elastiekje veranderen.

4 Een geluidssignaal op de oscilloscoop

- Twee trillingen beslaan vijf hokjes. Hieruit kun je de trillingstijd T bepalen.
- Omdat de toon harder is, verandert de amplitude van de trilling. Omdat de toon hoger is, verandert het aantal trillingen per seconde.

Vaste stoffen, vloeistoffen en gassen

Deze stof is behandeld in de blokken 17, 20 en 22.

De fasen en hun eigenschappen.

In welke fase een stof zich bevindt, hangt af van de omstandigheden (de temperatuur en de druk). Bij een 'normale' druk (10^5 Pa) heet de temperatuur, waarbij de stof overgaat van de vaste in de vloeibare fase, het *smelpunt*. Bij deze temperatuur stolt de stof als warmte aan de vloeistof wordt onttrokken. Het smelpunt is daarom tegelijkertijd het *stolpunt*. In figuur 27 zijn alle fase-overgangen (met de namen) weergegeven.

Als je de dichtheid van een stof weet, kun je (meestal) in een tabellenboek opzoeken welke stof het is. (Verschillende stoffen hebben maar zelden dezelfde dichtheid.)

De *dichtheid* is de massa van één cm^3 van de stof. Vaste stoffen hebben (meestal) een grotere dichtheid dan vloeistoffen. (Ijs is een uitzondering.) De dichtheid van een gas is nog veel kleiner.

Tussen de drie fasen van een stof bestaan (bij gelijkblijvende temperatuur) ook nog de volgende verschillen in eigenschappen:

- vaste stof heeft: een vaste vorm; een vast volume.
- vloeistof heeft: geen vaste vorm; wel een vast volume.
- gas heeft: geen vaste vorm; geen vast volume.

Een vloeistof neemt dus wel de vorm aan van de bak waar je hem in schenkt, maar is niet samen te drukken.

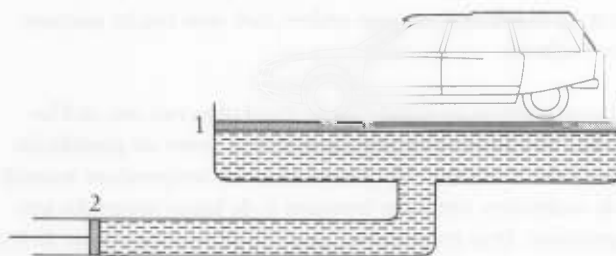
Als je op de vloeistof drukt, wordt deze druk in alle richtingen doorgegeven (de wet van Pascal). Je kunt daardoor de druk in een vloeistof 'op afstand' uitoefenen; het hydraulisch remsys-

teem van een auto is daar een toepassing van. Je kunt met een kleine kracht ook een grote kracht uitoefenen. Toepassingen daarvan zijn de hydraulische lift (figuur 28) of de hydraulische pers.

Een kleine kracht op een kleine oppervlakte zorgt voor de *druk*. De druk wordt doorgegeven naar een grote oppervlakte. Een grote oppervlakte betekent hier een grote kracht. (Want

$$\text{druk} = \frac{\text{kracht}}{\text{oppervlakte}}; P = \frac{F}{A}, \text{ dus } F = P \cdot A)$$

fig. 28
Een hydraulische lift.



Enkele fasen van water

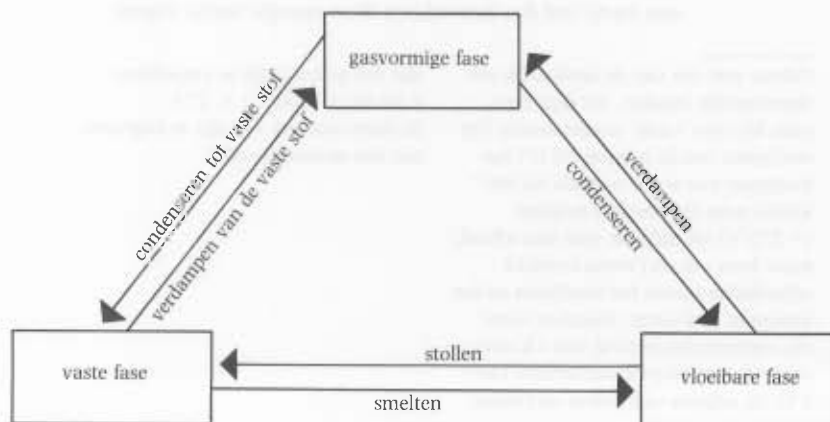
Condens ontstaat als (onzichtbare) waterdamp afkoelt (bijvoorbeeld op een koude ruit).

Ijs ontstaat als water bevroert.

Rijp ontstaat als waterdamp meteen overgaat in vaste vorm (dus alleen bij een temperatuur beneden 0°C).

Ijzel ontstaat als onderkoelde waterdruppels (temperatuur beneden 0°C) op koude grond vallen óf als regen van bijna 0°C op bevroren grond valt.

fig. 27
Het schema van de fase-overgangen.



Het molekuulmodel en eigenschappen van molekulen

Er is een model gemaakt om de eigenschappen van stoffen te kunnen verklaren.

Hieronder staan de eigenschappen van het molekuulmodel.

- 1 Elke stof bestaat uit zéér kleine deeltjes: de molekulen.
- 2 De molekulen hebben massa.
- 3 De molekulen bewegen.
- 4 Door toevoer van energie gaan de molekulen sneller bewegen. Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de gemiddelde snelheid van de molekulen.
- 5 Tussen de molekulen bevindt zich ruimte; de grootte van die ruimte hangt sterk af van de fase waarin de stof verkeert.
- 6 Op korte afstand van elkaar trekken de molekulen elkaar aan. Op zeer korte afstand van elkaar stoten ze elkaar echter af.

De molekulen van een stof oefenen een aantrekkende kracht uit op molekulen van dezelfde stof; deze kracht noemen we cohesie.

De molekulen van een stof oefenen ook aantrekkende kracht uit op molekulen van een andere stof; deze kracht noemen we adhesie.

De gemiddelde snelheid van de molekulen van een stof bepaalt de temperatuur van die stof: hoe groter de gemiddelde snelheid, hoe hoger de temperatuur. De temperatuur waarbij de molekulen niet meer bewegen is de laagst mogelijke temperatuur. Deze temperatuur heet het absolute nulpunt. Kelvin gebruikte deze temperatuur als nulpunt voor zijn temperatuurschaal.

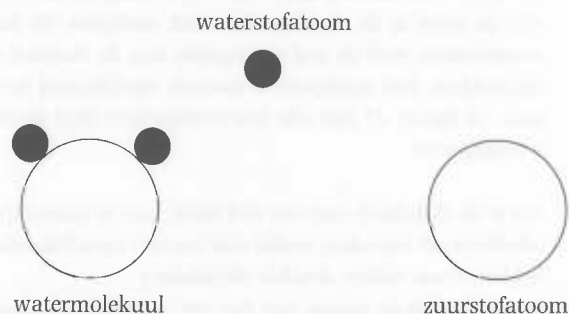
- *Vaste stof*: de molekulen zitten dicht op elkaar, zodat ze grote krachten op elkaar uitoefenen. Vandaar dat ze gerangschikt zijn in een rooster (kristallen), want een regelmatige stapeling is altijd de dichtste stapeling. De molekulen trillen op hun plaats.
- *Vloeistof*: als de temperatuur stijgt, gaan de molekulen sneller bewegen en valt het rooster uiteen, maar de molekulen blijven wel dicht bij elkaar. Ze kunnen nu langs elkaar bewegen.

Hoeveel een stof uitzet bij een temperatuurverhoging van 1 °C hangt af van de soort stof en van de fase waarin die stof zich bevindt. Bij gelijkblijvende druk zal een gas het meeste uitzetten. Vloeistoffen zetten veel minder uit en vaste stoffen nog minder. Ook zijn er verschillen tussen de uitzetting van stoffen onderling. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij een bimetaal (een strip van twee verschillende metalen op elkaar trekt krom als de temperatuur verandert).

Celsius was een van de eersten die een thermometer maakte. Als ijkpunten nam hij twee 'vaste' temperaturen. Het smeltpunt van ijs noemde hij 0 °; het kookpunt van water noemde hij 100 °. Kelvin nam het absolute nulpunt (− 273 °C) als nulpunt voor zijn schaal, maar koos net als Celsius honderd schaaldelen tussen het smeltpunt en het kookpunt van water. Daardoor komt een temperatuurverschil van 1 K overeen met een temperatuurverschil van 1 °C. De schalen van Kelvin en Celsius

Molekulen bestaan uit nog kleinere deeltjes: atomen. De combinatie van atomen bepaalt de eigenschappen van de stof die uit deze molekulen is opgebouwd (figuur 29).

fig. 29
Een molekuul is opgebouwd uit atomen.



Water plakt aan glas omdat de adhesie tussen water- en glasmolekulen groter is dan de cohesie tussen watermolekulen. Kwik plakt niet aan glas omdat de cohesie van kwikmolekulen groter is dan de adhesie tussen kwik- en glasmolekulen.

- *Gas*: de molekulen hebben nu zo'n grote gemiddelde snelheid dat ze elkaar wegduwen. Er zit veel ruimte tussen de molekulen, waardoor de kracht die ze op elkaar uitoefenen zeer klein is. De molekulen zijn vrij. Als de temperatuur stijgt, gaan de molekulen sneller bewegen. Gevolgen hiervan kunnen zijn:
 - de molekulen gaan verder uit elkaar zitten (de stof zet uit);
 - een fase-overgang.
- Je kunt het verdampen van een vloeistof of het smelten van een vaste stof dus bevorderen door energie toe te voeren.

zijn dus gemakkelijk te vergelijken:
 $T \text{ (in K)} = T \text{ (in } ^\circ\text{C)} + 273.$
 De fasen van een stof zijn te begrijpen met het molekuulmodel.

Druk bij gassen

In een gas zijn de molekulen vrij. Ze bewegen door elkaar, botsen tegen elkaar en tegen de wanden. Hierdoor kunnen ze druk uitoefenen. De druk van de lucht bij het aardoppervlak kun je uitrekenen als je het gewicht van de lucht boven je weet. Meestal gebruik je een barometer (figuur 30) om de druk van de lucht te bepalen.

fig. 30
Een barometer meet de luchtdruk.

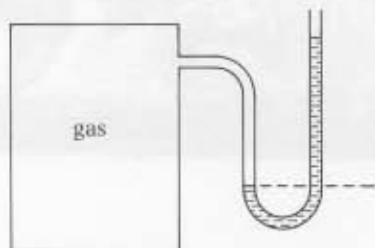


Druk wordt gemeten in Pascal (N/m^2) of in mbar. De luchtdruk hangt af van de hoogte waarop je meet. Hoe hoger je komt, hoe minder lucht er boven je is, dus hoe lager de luchtdruk is.

De luchtdruk bij het aardoppervlak is niet altijd even groot. Is de druk op een bepaalde plaats groter dan in de omgeving, dan is daar een *hogedrukgebied*; is de luchtdruk juist lager, dan is er een *lagedrukgebied*.

Met een vloeistofmanometer kun je de druk van een gas bepalen (figuur 31). Is deze druk groter dan de luchtdruk, dan spreek je van *overdruk*; is deze druk kleiner dan de luchtdruk, dan is er sprake van *onderdruk*.

fig. 31
Een vloeistofmanometer.



Met de gaswetten kun je voor een afgesloten hoeveelheid gas berekenen wat er met het volume (V), de druk (p) of de temperatuur (T) gebeurt als je de toestand van het gas verandert.

Wet van Boyle:

$p \cdot V$ is constant (T constant, afgesloten hoeveelheid gas).

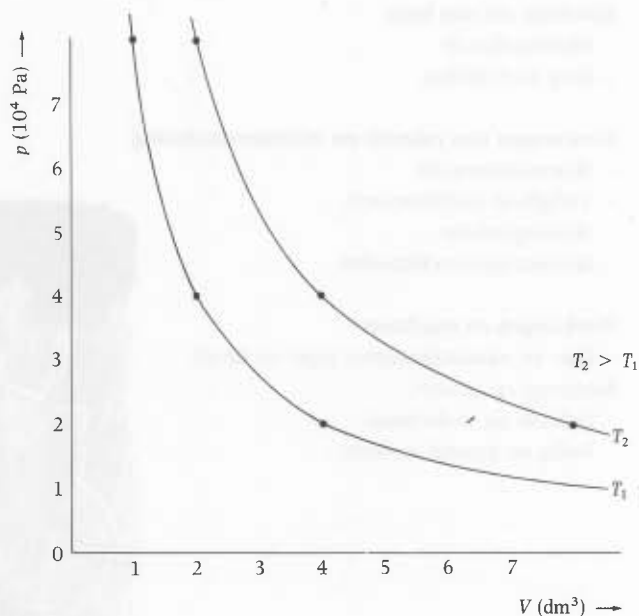
In figuur 32 zie je het (p, V)-diagram voor dezelfde hoeveelheid gas bij twee verschillende temperaturen.

Algemene gaswet:

$\frac{p \cdot V}{T}$ is constant (bij een constante hoeveelheid gas).

Denk er aan dat je voor T de temperatuur in kelvin (aantal $^{\circ}\text{C}$ + 273) gebruikt!

fig. 32
Een (p, V)-diagram van een hoeveelheid gas.



Formules, grootheden en eenheden

Formules

- 1 $\rho = \frac{m}{V}$
- 2 $p \cdot V = \text{constant}$ (als T en de hoeveelheid gas constant zijn)
- 3 $\frac{p \cdot V}{T} = \text{constant}$ (als de hoeveelheid gas constant is)

Grootheden en eenheden

Grootheid	Eenheid
ρ dichtheid	kg/m ³
m massa	kg
V volume	m ³
p druk	Pa (pascal), mbar
T temperatuur	K (kelvin)

Contexten bij Vaste stoffen, vloeistoffen en gassen

Verkeer en vervoer

- Luchtverontreiniging.

Krachten om ons heen

- Materiaalkeuze.
- Zorg voor milieu.

Verwarmen van ruimten en warmtevoorziening

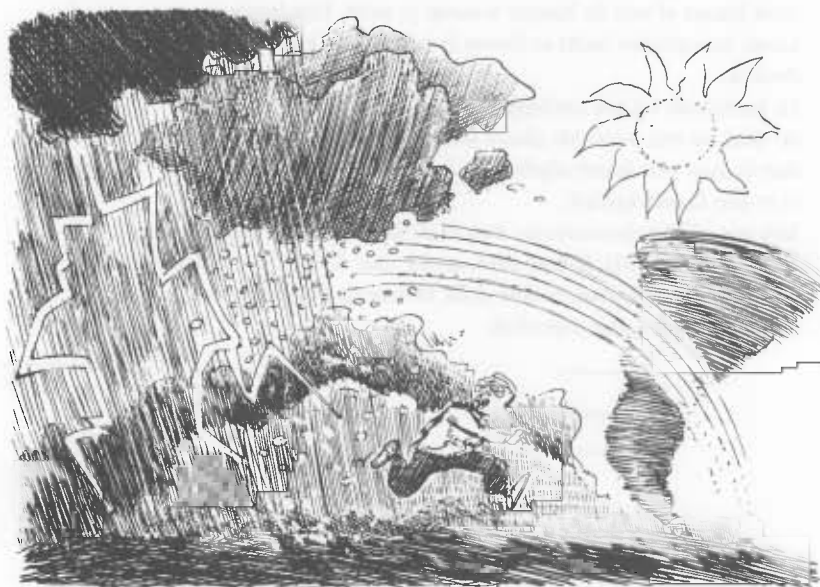
- Warmtetransport.
- Veiligheid (luchtoevoer).
- Woningisolatie.
- Bevriezingsverschijnselen.

Werktuigen en machines

- Gas- en vloeistofpompen, pipet en hevel, fietspomp en ventiel.
- Gebruik en onderhoud.
- Veilig en gezond werken.

Het weer en verschijnselen in de vrije natuur

- Regen, sneeuw, ijs, rijp, ijzel, condens, wolken, luchtdruk (barometer), dauwpunt, luchtdrukverschil (hogedrukgebied, lagedrukgebied), verschijnselen in de vrije natuur.
- Veiligheid en gezondheid (relatieve vochtigheid, luchtverontreiniging, bodemverontreiniging, drinkwatervoorziening).
- Invloed weer op constructies; corrosie, stormschade.



Blok 24

W3

1 De dichtheid bepalen

Annet wil de dichtheid van een stof bepalen. Ze doet een massief bolletje van die stof in een maatglas met spiritus. Het bolletje blijft drijven. Het volume van de verplaatste vloeistof is dan 12 cm^3 . Annet duwt het bolletje helemaal in de spiritus. Er wordt dan 20 cm^3 spiritus verplaatst. De dichtheid van spiritus is $0,8 \text{ g/cm}^3$.

- a Hoe groot is de kracht die Annet moet uitoefenen om het bolletje helemaal ondergedompeld te houden?
- b Bereken de dichtheid van het bolletje.

2 De vrieskast

In supermarkten kun je diepvriesprodukten vinden in vrieskasten en -kisten. De kasten hebben een (glazen) deur om ze zoveel mogelijk dicht te houden, maar de kisten zijn meestal gewoon open (figuur 33).

- a Leg uit waarom de vrieskast geen deksel hoeft te hebben. Je opent een vrieskast. Er glijdt koude lucht langs je benen. Als je de kast weer dichtdoet, beslaat de glazen deur. Even later kun je weer door het glas kijken.
- b Waarom voel je koude lucht langs je benen stromen?
- c Waarom beslaat het glas als de deur open staat?
- d Beredeneer of het glas aan de binnenkant (de kant van de vrieskast) of aan de buitenkant beslaat.
- e Waar blijft de condens die op het glas zat als de deur weer dicht is?

3 Inkrimpen

De uitzettingscoëfficiënt van aluminium is $0,000024$ per $^\circ\text{C}$ en die van staal is $0,000012$ per $^\circ\text{C}$.

Kees heeft een staafje aluminium en een even lang staafje staal. Hij legt de staafjes in vloeibare stikstof, zodat de staafjes flink in temperatuur dalen.

- a Welk staafje is na afkoeling het kortst?
- Ans zegt dat het lange staafje nu twee keer zo lang is als het korte staafje.
- b Leg uit of Ans wel of niet gelijk heeft.

fig. 33
Een vrieskist en een vrieskast.



4 Het molekuulmodel

- a Verklaar met behulp van het molekuulmodel dat een gas in alle richtingen druk uitoefent.
- b Leg het verdampen van een vloeistof uit met behulp van het molekuulmodel.
- c Op welke manieren kun je het verdampen versnellen?
- d Waarom droogt de was sneller als de wind er langs kan waaien?
- e Leg aan de hand van het molekuulmodel uit dat er een laagst mogelijke temperatuur bestaat.
- f Bij welke temperatuurschaal wordt gebruik gemaakt van dit laagste punt? Hoe ziet deze temperatuurschaal er verder uit?

5 Een snelkookpan

In een snelkookpan kookt water onder hoge druk. Als de druk te hoog wordt, gaat de veiligheidsklep open (figuur 34). De waterdamp in de snelkookpan moet een kracht van 16 N op de veiligheidsklep uitoefenen om te kunnen ontsnappen. De klep staat dan op het punt open te gaan.

De klep sluit een opening af met een doorsnede van $0,8 \text{ cm}^2$.

- a Hoeveel Pa is de druk van de waterdamp in de pan?
 - b Mag je op de waterdamp in de pan de gaswetten toepassen? Licht je antwoord toe.
- De klep van de snelkookpan gaat open. Boven de klep vormt de ontsnappende waterdamp een wolkje.
- c Door welke fase-overgang ontstaat het wolkje?
 - d Verklaar het ontstaan van het wolkje.
 - e Door welke fase-overgang verdwijnt dat wolkje weer?

fig. 34
Een snelkookpan.

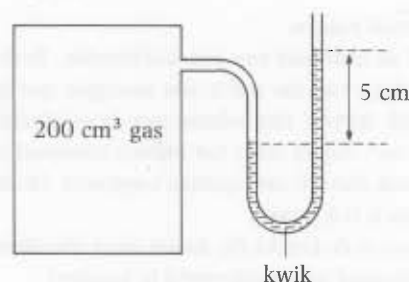


6 Een manometer

Een afgesloten ruimte die 200 cm^3 gas bevat, is aangesloten op een vloeistofmanometer (figuur 35). In het rechterbeen staat het kwik $5,0 \text{ cm}$ hoger dan in het linkerbeen. De dichtheid van kwik is $13,6 \text{ g/cm}^3$. De luchtdruk is $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

- Bereken of hier sprake is van over- of van onderdruk.
- Bereken de druk van het gas.
Men verhoogt de temperatuur van 27°C tot 87°C . Het gasvolume blijft 200 cm^3 .
- Bereken de nieuwe druk van het gas.
- Bereken het nieuwe hoogteverschil in de manometer.
In werkelijkheid is het volume wel iets toegenomen: het gas duwt het kwik verder de manometer in.
- Bereken of de uitkomst van vraag d hierdoor in werkelijkheid hoger of lager is.

fig. 35



Hulp

1 De dichtheid bepalen

- Annet moet 8 cm^3 spiritus extra verplaatsen, waardoor de opwaartse kracht dus groter wordt.
- Het volume van het bolletje is 20 cm^3 . De massa van het bolletje kun je bepalen uit de gegevens bij het drijven. De opwaartse kracht is dan gelijk aan de zwaartekracht!

2 De vrieskast

- De dichtheid van koude lucht is groter dan van warme lucht.
- De koude lucht in de vrieskast heeft een grotere dichtheid dan de warme lucht in de winkel.
- Er is warme lucht uit de winkel in de vrieskast gekomen. Deze lucht koelt nu af.
- Aan de buitenkant verandert er niets.
- De binnenkant van de glazen deur is de warmste plaats in de vrieskast. Er ontstaat ook rijp op de koudere plaatsen.

3 Inkrimpen

- De stof met de grootste uitzettingscoëfficiënt zet het meeste uit als de temperatuur stijgt. Wat doet die stof als je hem afkoelt?
- De uitzettingscoëfficiënt zegt iets over de lengteverandering per $^\circ\text{C}$ per lengte-eenheid.

4 Het molekuulmodel

- Een gas bestaat uit kleine deeltjes, molekulen. De molekulen bewegen kriskras door elkaar heen.
- Boven de vloeistof zitten molekulen die uit de vloeistof vrijgekomen zijn.
- Je moet zorgen dat er meer molekulen vrij kunnen komen. Of je moet zorgen dat de molekulen die uit de vloeistof zijn gekomen er niet meer in terug kunnen komen.

- Het drogen van de was is niets anders dan het laten verdampen van het water dat nog in de was zit.
- De temperatuur heeft iets met de snelheid van de molekulen te maken.
- Kelvin ging uit van de laagst mogelijke temperatuur. Verder maakte hij gebruik van de thermometer van Celsius.

5 Een snelkookpan

- $F = 16 \text{ N}$. $A = 0,8 \text{ cm}^2$.
- De gaswetten mag je alleen toepassen als de hoeveelheid gas constant blijft.
- Waterdamp ontsnapt en er ontstaan kleine waterdruppeltjes.
- De waterdamp heeft een temperatuur boven 100°C . De buitenlucht heeft een veel lagere temperatuur.
- De waterdruppeltjes worden weer waterdamp.

6 Een manometer

- Het gas is in staat extra kwik omhoog te drukken.
- De druk van het gas is gelijk aan de luchtdruk ($100\,000 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ N/cm}^2$) plus de druk van het kwik.
- Er is sprake van een afgesloten hoeveelheid gas, dus je mag de algemene gaswet toepassen. Bedenk wel:
 $27^\circ\text{C} = 273 + 27 = 300 \text{ K}$; $87^\circ\text{C} = 273 + 87 = 360 \text{ K}$.
- De druk is $12,46 \text{ N/cm}^2$.
De overdruk is nu $2,46 \text{ N/cm}^2$. Daar moet het extra kwik voor zorgen.
- Het volume is groter dan we bij vraag c veronderstelden. Welke invloed heeft dat op de druk?

Energie is behandeld in de blokken 15, 16, 22 en 23.

Energieomzettingen

Personen en voorwerpen die energie bezitten, kunnen arbeid verrichten. Energie kan van de ene vorm overgaan in andere vormen.

Enkele soorten energie zijn: bewegings-energie, zwaarte-energie, warmte-energie, elektrische energie, chemische energie, stralingsenergie en kernenergie.

Veel apparaten zijn gemaakt om de ene soort energie om te zetten in een andere soort. Zo zet de centrale verwarming chemische energie (uit aardgas of stookolie) om in warmte-energie. Een stijgende lift gebruikt elektrische energie en zet deze om in zwaarte-energie.

Bij alle omzettingen geldt dat de totale hoeveelheid energie die uit het apparaat komt even groot is als de hoeveelheid energie die er in ging. Meestal kun je echter een deel van de energie die er uit komt niet nuttig gebruiken. Zo wordt de warmte die een lamp geeft (meestal) als 'verlies' beschouwd; een lamp is immers gemaakt om licht te geven. Maar natuurkundig gezien is er geen energieverlies.

Het *rendement* (η) geeft aan hoeveel procent van de energie die je in een apparaat stopt er weer als nuttige energie uit komt. Het rendement bereken je met de volgende formule.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{nuttige energie}}{\text{toegevoerde energie}} \cdot 100\%; \text{ symbool } \eta$$

De toegevoerde energie moet ergens vandaan komen. Als je thuis een apparaat laat werken, gebruik je vaak elektrische energie (via het stopcontact). Deze energie is in een elektriciteitscentrale opgewekt. Daar verstoekt men bijvoorbeeld aardgas, om met de verkregen stoom generatoren te laten draaien, die de elektrische energie leveren.

Voorbeelden van energiebronnen zijn: fossiele brandstoffen (steenkool, aardolie; aardgas), kernsplijting/kernfusie, zon, wind, getijden, waterkracht, aardwarmte, biogas.

De *verbrandingswarmte* is de hoeveelheid energie die vrijkomt als 1 kg vaste brandstof (of 1 m³ vloeibare of gasvormige brandstof) wordt verbrand. (Alleen voor D-niveau.)

Transport van warmte

Warmte gaat uit zichzelf van een plaats met een hoge temperatuur naar een plaats met een lage temperatuur.

Dit kan op drie manieren.

- 1 Door *stroming* (denk aan de luchtcirculatie bij een kachel). Strooming vindt plaats in vloeistoffen en in gassen. De stof wordt op een bepaalde plaats verwarmd en zet uit. Hierdoor wordt de dichtheid kleiner, waardoor de stof opstijgt. Hoe' groter het temperatuurverschil, hoe sneller de stroming.
- 2 Door *straling* (de warmte van de zon komt via straling (licht) naar de aarde). Bij warmtetransport door straling is geen tussenstof nodig. Een warm voorwerp zendt straling uit. Een ander voorwerp kan deze straling absorberen en wordt daardoor warmer. Een voorwerp neemt de straling goed op als het oppervlak dof en donker is; het reflecteert de straling als het een glad en glimmend oppervlak heeft.
- 3 Door *geleiding* (een metalen lepel wordt ook bij het handvat warm als hij een tijdje in hete soep staat). De molekulen geven de bewegingsenergie aan elkaar door, maar blijven op hun plaats trillen.



De mate van geleiding hangt af van:

- de soort stof (isolatoren zoals kunststof, glas, lucht en hout geleiden slecht; metalen zijn goede geleiders);
- het temperatuurverschil (hoe groter het temperatuurverschil, hoe sneller het warmtetransport).

Het verwarmen van een stof

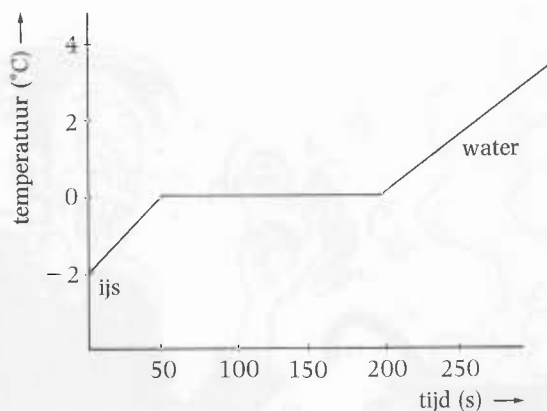
Als je energie aan een stof toevoert, stijgt de temperatuur van die stof, óf er vindt een fase-overgang plaats.

Dit kun je zien in twee soorten diagrammen: het temperatuur-tijddiagram (figuur 36) en in het temperatuur-(warmte) energiediagram (figuur 37). In het temperatuur-energie-diagram zie je dat je bij een fase-overgang wel energie aan de stof moet toevoeren, maar dat de temperatuur niet verandert. Je kunt ook uit dat diagram aflezen hoeveel energie het kost om het voorwerp (of de betreffende hoeveelheid stof) 1°C (of 1 K) in temperatuur te doen stijgen. Dit noemen we de *warmtecapaciteit* (C) van het voorwerp (of van die hoeveelheid stof). Is het voorwerp van één stof gemaakt, dan kun je ook de soortelijke warmte van die stof bepalen. De *soortelijke warmte* (c) is de energie (in J) die nodig is om 1 kg van die stof 1°C (of 1 K) in temperatuur te doen stijgen. Eenheid: $\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

De warmtecapaciteit is dus een eigenschap van voorwerpen, de soortelijke warmte is een eigenschap van stoffen.

De soortelijke warmte van een stof kun je bepalen met een *warmtemeter* (joulemeter). Je moet dan meten: de massa, de begintemperatuur, de eindtemperatuur en de hoeveelheid energie die je toevoert.

fig. 36
Een temperatuur-tijddiagram.



In het temperatuur-energie-diagram (figuur 37) zie je dat er ook energie nodig is om een hoeveelheid stof te smelten: de *smeltwarmte*. Laat je echter een voorwerp stollen, dan komt die energie weer vrij: de *stolwarmte*.

Er geldt: smeltwarmte = stolwarmte; smeltpunt = stolpunt. Zo kost het ook energie om een vloeistof te verdampen. Deze energie krijg je weer terug als de vloeistof condenseert.

De definities bij elkaar.

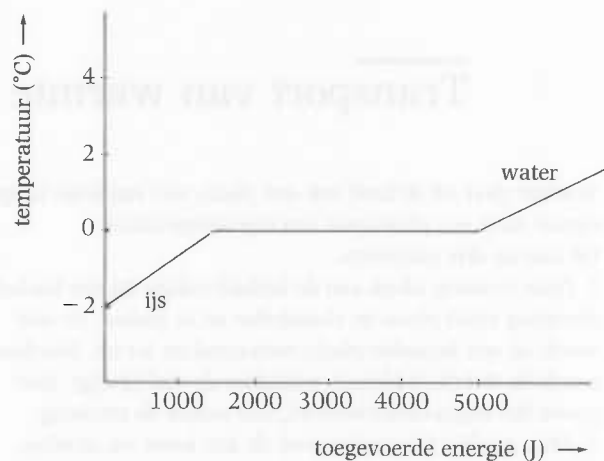
Soortelijke warmte van een stof: de hoeveelheid energie die nodig is om 1 kg van de stof 1°C (of 1 K) in temperatuur te doen stijgen.

Warmtecapaciteit van een voorwerp: de hoeveelheid energie die nodig is om dat voorwerp 1°C (of 1 K) in temperatuur te doen stijgen.

Smeltwarmte van een stof: de energie die nodig is om 1 kg van die stof bij het smeltpunt te laten smelten.

Stolwarmte van een stof: de energie die vrijkomt als 1 kg van die stof bij het smeltpunt stolt.

fig. 37
Een temperatuur-energie-diagram.



Formules, grootheden en eenheden

Formules

$$1 \quad Q = c \cdot m \cdot (T_e - T_b)$$

$$2 \quad Q_{op} = Q_{af}$$

$$3 \quad P = \frac{E}{t}; \quad E = P \cdot t$$

$$4 \quad \eta = \frac{P_{af}}{P_{op}} \cdot 100\% \text{ (rendement)}$$

$$\eta = \frac{E_{af}}{E_{op}} \cdot 100\%$$

$$5 \quad C = \frac{Q}{(T_e - T_b)} \text{ (warmtecapaciteit)}$$

Grootheden en eenheden

Grootheid	Eenheid
Q warmte-energie	J
c soortelijke warmte	J/kg · K
m massa	kg
T temperatuur	°C of K
P vermogen	W (watt)
E energie	J
η rendement	%
C warmtecapaciteit	J/K

Contexten bij Energie

Verwarmen van ruimten en warmtevoorziening

- Warmteopwekking (gasbrander, elektrische kookplaat, elektrische pompelaar), warmtetransport, warmteafgifte, temperatuurregeling, warmwatervoorziening, enzovoort.
- Kachel, c.v., radiatoren, thermostaat.
- Energiegebruik, rendement, woningisolatie, alternatieve energiebronnen (zonnecollector).

Energievoorziening op grote schaal

- Omzetting van energie (fossiele energie, waterkracht, wind-energie).
- Veiligheid.
- Lucht- en waterverontreiniging, stadsverwarming.

Elektriciteit en elektrische apparaten in en om het huis

- Veiligheidsvoorzieningen (eisen aan apparatuur).

Het weer en verschijnselen in de vrije natuur

- Regen, sneeuw, ijs, rijp, condens, wolken, luchtdruk, dauwpunt, luchtdrukverschil.

Werktuigen en machines

- Gebruik en onderhoud.
- Veilig en gezond werken.

Blok 24

W4

1 Het rendement van een dynamo

Tineke wil het rendement van een dynamo bepalen. Ze maakt de opstelling van figuur 38. In de elektrische schakeling zijn – behalve de dynamo – een stroommeter A, een spanningsmeter V en een lampje L opgenomen.

Tineke laat het blok los en meet de tijd die het blok nodig heeft om de grond te bereiken. Bovendien noteert ze de spanning en de stroomsterkte.

a Wat gebeurt er met de bewegingsenergie van het blok?

b Wat gebeurt er met de zwaarte-energie van het blok?

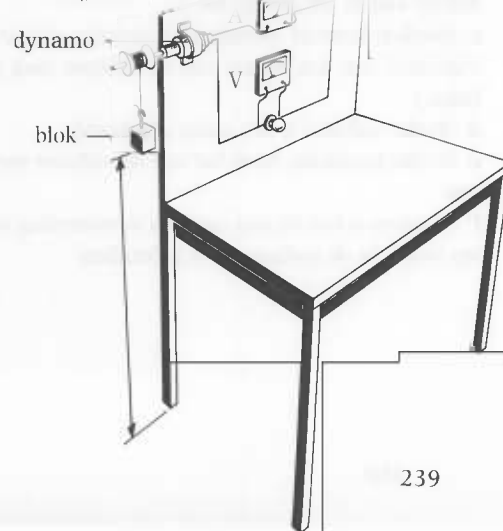
c Welke energieomzetting vindt plaats in de dynamo?

Tineke berekent dat het blok tijdens het dalen 6,0 J aan de dynamo heeft geleverd. Het blok had 4,0 s nodig om op de grond te komen. In die tijd leverde de dynamo een vermogen van 0,50 W.

d Bereken het rendement van de dynamo.

fig. 38

De bepaling van het rendement van een dynamo.



2 Een magnetron-oven

In een folder over een magnetron-oven staat: 'Aansluitwaarde 1200 W. Nuttig vermogen 650 W.'

a Bereken het rendement van de magnetron-oven.

In een kom zit 200 g soep. De soep moet verwarmd worden van 20 °C tot 80 °C. De soortelijke warmte van de soep is 4,0 kJ/kg · K.

b Hoe lang duurt het opwarmen in de magnetron-oven?

c Hoeveel elektrische energie is daar voor nodig?

3 Wasdag

Het wasgoed hangt in de zon te drogen. De temperatuur van de lucht is 25 °C. In figuur 39 is de grafiek getekend van de temperatuur van het wasgoed tegen de tijd.

a Aanvankelijk daalt de temperatuur van de was. Geef hier een verklaring voor.

b Waarom voelt natte was altijd koud aan?

c Als de was droog is, stijgt de temperatuur ervan boven de luchttemperatuur. Verklaar dit.

4 Verwarmingsradiatoren

Er bestaan verwarmingsradiatoren, waarbij in de radiator vloeistof elektrisch wordt verwarmd. Je kunt zo'n radiator vullen met olie of met water. In de tabel van figuur 40 zie je de gegevens over deze vloeistoffen.

fig. 40

stof	soortelijke warmte (kJ/kg · K)	dichtheid (kg/dm ³)
olie	1,7	0,9
water	4,2	1,0

We vergelijken twee dezelfde radiatoren, die allebei met 10 dm³ vloeistof zijn gevuld: de ene met olie en de andere met water. De radiatoren gebruiken, als ze zijn ingeschakeld, hetzelfde elektrische vermogen.

a Welke energieomzetting vindt plaats?

b Welke radiator staat – als de eindtemperatuur is bereikt – per seconde de meeste warmte af?

Als beide radiatoren dezelfde hoge temperatuur hebben, wordt de elektrische stroom uitgeschakeld. De radiatoren koelen allebei 50 graden af.

c Bereken hoeveel warmte elke radiator afstaat. (De warmtecapaciteit van het metaal van de radiator mag je verwaarlozen.)

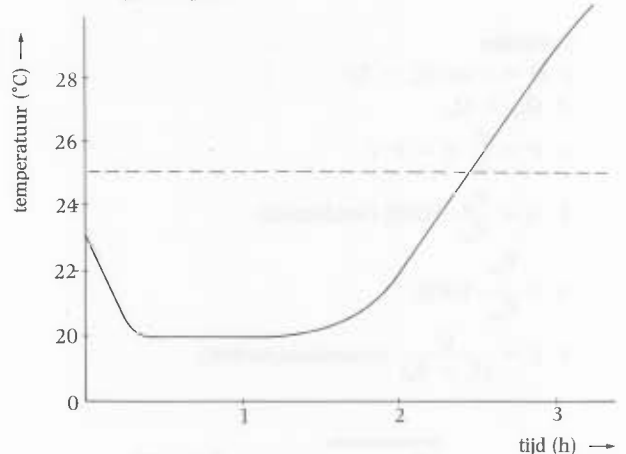
d Welke radiator is het snelst afgekoeld?

e Welke voordelen heeft het om de radiator met olie te vullen?

f Waarom is het bij een centrale verwarming juist verstandig om water in de radiatoren te gebruiken?

fig. 39

Temperatuur-tijdgrafiek van drogend wasgoed.



5 Een auto

Een auto heeft bij een constante snelheid van 90 km/h (= 25 m/s) een verbruik van 1 op 10. Dat wil zeggen dat 1 liter benzine nodig is om 10 km af te leggen. De motor heeft een rendement van 25%.

De verbrandingswarmte van benzine is 33 MJ/l. (Dat wil zeggen dat bij de verbranding van 1 liter benzine 33 000 000 J energie wordt omgezet.)

a Welke energieomzetting vindt plaats als de auto optrekt?

b Welke energieomzetting vindt plaats als de auto 90 km/h rijdt?

c Bereken het vermogen dat de benzine dan aan de motor levert.

d Bereken de nuttige arbeid die de motor dan per seconde verricht.

e Bereken de wrijvingskracht die bij deze snelheid op de auto werkt.

Hulp

1 Het rendement van een dynamo

- a Het blok hangt eerst stil en begint daarna te vallen.
- b Het blok verliest hoogte.
- c De dynamo werkt pas als de magneet wordt rondgedraaid. De dynamo zorgt dan voor een elektrische spanning.

d $P_{\text{toegev}} = \frac{6,0}{4,0}$; $P_{\text{nut}} = 0,5 \text{ W}$.

2 Een magnetron-oven

- a $P_{\text{toegev}} = 1200 \text{ W}$; $P_{\text{nut}} = 650 \text{ W}$.
- b Nodig: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4000 \cdot 0,2 \cdot (80 - 20) \text{ J}$
Per seconde levert de magnetron-oven 650 J.
- c De magnetron-oven staat 74 s aan. Per seconde kost dat 1200 J elektrische energie.

3 Wasdag

- a Natte was bevat nog veel water.
- b Kijk naar het laagste punt van de grafiek.
- c De was hangt in de zon.

4 Verwarmingsradiatoren

- a Er wordt elektrische energie aan de radiator toegevoerd.
- b Je mag aannemen dat het rendement van beide radiatoren even groot is.
- c 10 dm^3 olie is 9,0 kg. 10 dm^3 water is 10 kg.
- d De radiator gevuld met olie staat de kleinste hoeveelheid warmte af.
- e Denk aan massa, opwarmtijd, afkoeltijd, gevoeligheid voor roest. Niet belangrijk is het uitstralend vermogen of de temperatuur, want die hangt af van de buitenkant van de radiator en is voor beide radiatoren hetzelfde.
- f Bij de c.v. moet de warme vloeistof worden verplaatst. Dan is het juist van belang dat de vloeistof veel warmte per kg vloeistof kan opslaan.

5 Een auto

- a Als de auto optrekt, verandert de snelheid.
- b De snelheid verandert niet.
- c Als de benzine 33 MJ levert kun je daarmee 10 km rijden. In één seconde leg je 25 m af.
- d 25% van de toegevoerde energie per seconde.
- e In 1 seconde leg je 25 m af. De auto verricht arbeid (in vraag d berekend) omdat de wrijving negatieve arbeid verricht.

Blok 24

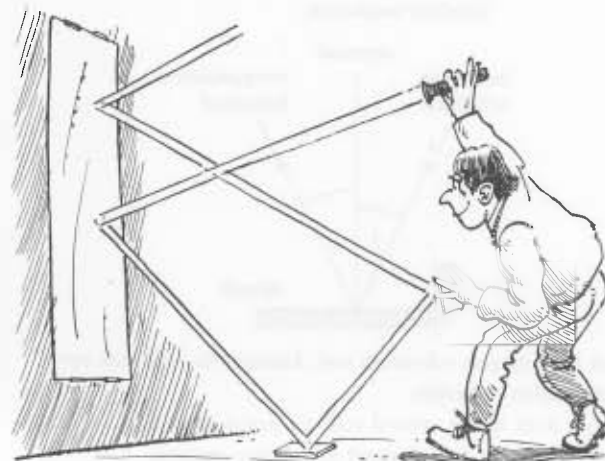
T5

Optica

De optica is behandeld in de blokken 11 en 19.

Belangrijke begrippen

- De *normaal* is de lijn loodrecht op een oppervlak.
- De *hoek van inval* ($\angle i$) is de hoek tussen de invallende straal en de normaal.
- De *hoek van terugkaatsing* ($\angle t$) is de hoek tussen de teruggekaatste straal en de normaal.
- De *hoek van breking* ($\angle r$) is de hoek tussen de gebroken straal en de normaal.
- De *voorwerpsafstand* (v) is de afstand van het voorwerp tot de spiegel of tot het optisch middelpunt van de lens.
- De *beeldafstand* (b) is de afstand van de spiegel tot aan het spiegelbeeld of (bij een lens) de afstand van het optisch middelpunt tot het beeld.
- De *brandpuntsafstand* (f) is de afstand van het optisch middelpunt tot het brandpunt.

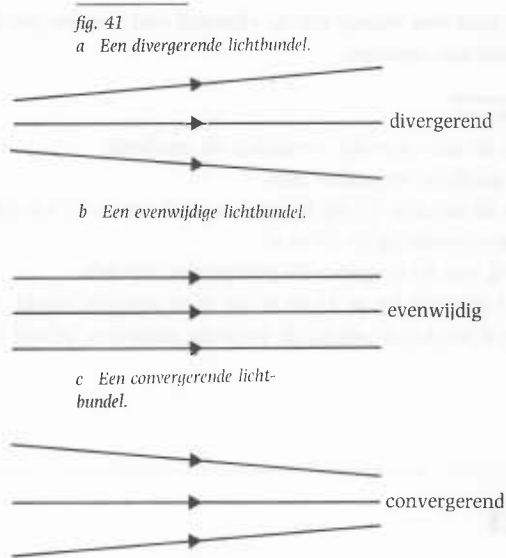


Rechthoekige voortplanting van licht

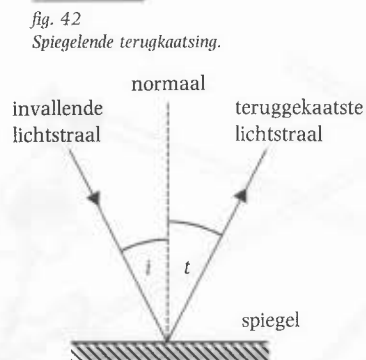
Een lichtbron (een lamp, een vuur, de zon) zendt licht uit dat zich naar alle kanten verspreidt. Een lichtstraal van zo'n lichtbron plant zich langs een rechte lijn voort. Denk aan het licht uit een laser.

Een aantal lichtstralen samen vormen een lichtbundel. Er zijn drie soorten lichtbundels (figuur 41).

- 1 De *convergerende* lichtbundel (de stralen lopen naar elkaar toe);
- 2 De *divergerende* lichtbundel (de stralen lopen uiteen);
- 3 De *evenwijdige* lichtbundel (alle stralen lopen onderling evenwijdig).



Je kunt een lichtstraal van zijn rechte baan afbuigen door een voorwerp in de lichtstraal te plaatsen. Een spiegel kaatst de lichtstraal terug; een vlakke plaat glas of een prisma breekt de lichtstraal.



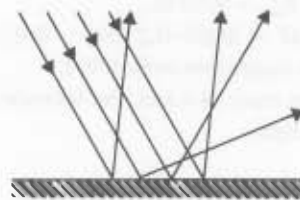
Als licht op een voorwerp valt, kunnen de volgende verschijnselen optreden:

- het licht wordt vrijwel volledig geabsorbeerd. De stralings-energie wordt dan omgezet in warmte-energie;

- het licht wordt spiegelend weerkaatst. Alle lichtstralen blijven vóór de spiegel; evenwijdige stralen blijven na terugkaatsing evenwijdig (figuur 42);
- het licht wordt diffuus weerkaatst. Het licht wordt verstrooid; de stralen van een evenwijdige lichtbundel worden in allerlei richtingen teruggekaatst (figuur 43);

fig. 43

Diffuse terugkaatsing.

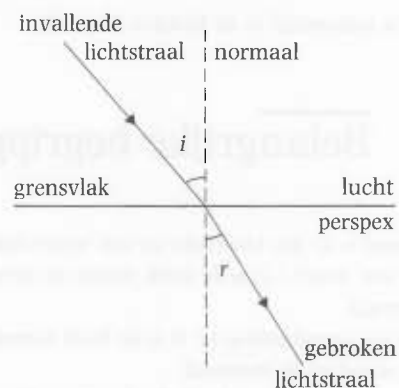


- het licht wordt gebroken. Dit gebeurt als het licht – niet loodrecht – op een doorzichtige stof (bijvoorbeeld glas) valt. Alleen als het licht schuin invalt, treedt breking op (figuur 44).

Bij een overgang van lucht naar een optisch dichtere stof (bijvoorbeeld perspex) treedt er breking op naar de normaal toe ($\angle i > \angle r$). Bij een overgang naar een optisch ijelere stof treedt er breking op van de normaal af ($\angle i < \angle r$). Zie figuur 44.

fig. 44

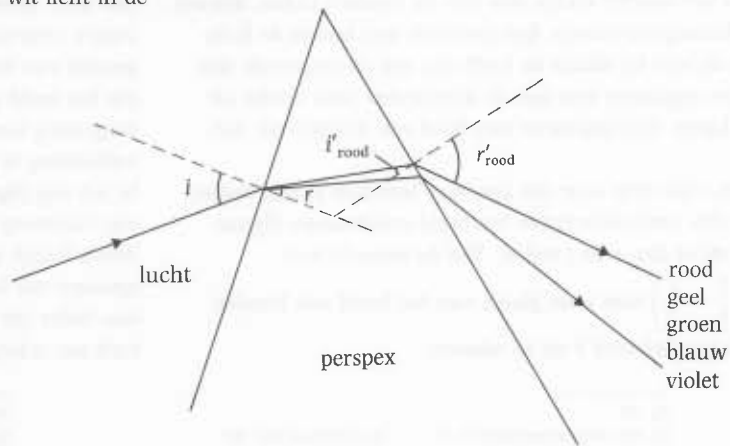
Breking van een lichtstraal aan het grensvlak tussen twee stoffen.



Als een prisma in een lichtbundel wordt gezet, treedt twee keer breking op (figuur 45). Een prisma scheidt wit licht in de kleuren van de regenboog.

fig. 45

Een prisma scheidt wit licht in de kleuren van de regenboog.



Beelden bij spiegels en lenzen

Bij een spiegel zie je het beeld achter de spiegel (figuur 46). Je kunt dit beeld niet op een scherm opvangen. De lichtstralen die van de spiegel komen lopen uit elkaar. Er ontstaat dan een *virtueel beeld*.

Bij een lens is de plaats van het beeld afhankelijk van de lens en van de voorwerpsafstand. Soms kun je het beeld wel en soms niet op een scherm afbeelden.

fig. 46

Een spiegel geeft een virtueel beeld van een voorwerp.

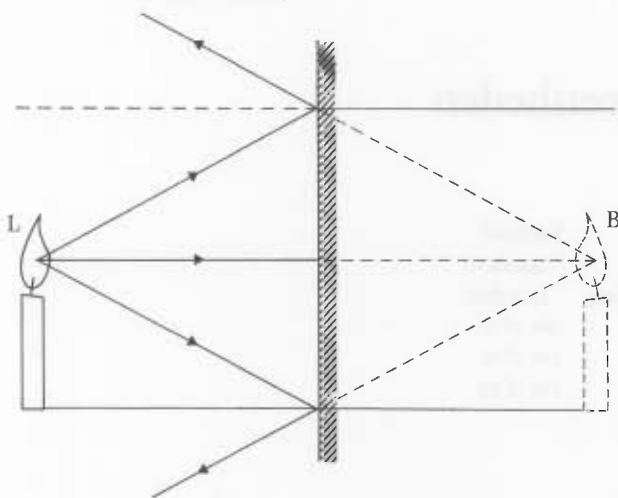
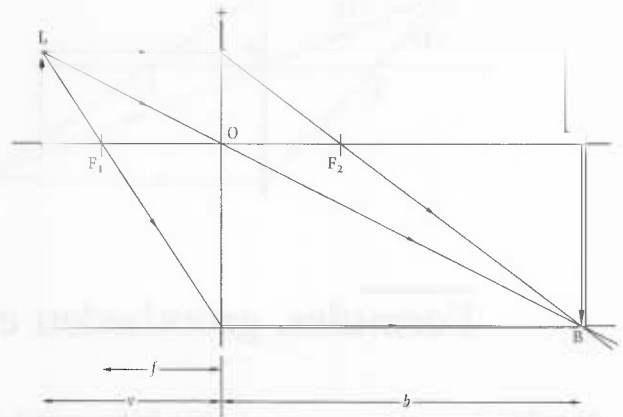


fig. 47

De vorming van een reëel beeld door een positieve lens.



Een lens heeft twee *brandpunten*. Het *optisch middelpunt* van een (symmetrische) lens ligt precies midden tussen de brandpunten.

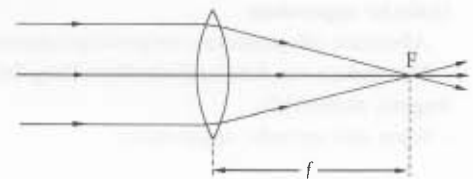
Bij een lens wordt op een bijzondere manier gebruik gemaakt van breking (figuur 48).

Kun je het wél afbeelden, dan komen de lichtstralen die van één punt van het voorwerp afkomstig zijn weer in één punt achter de lens samen. Je hebt dan een *reëel beeld* (figuur 47).

Reëel beeld bij: fototoestel, kopieerapparaat en diaprojector.
Virtueel beeld bij: spiegel, loep.

fig. 48

Breking van licht door een positieve lens.



De stralen van een evenwijdige bundel die op een positieve lens (in het midden dikker dan aan de randen) vallen, komen in het brandpunt samen. Een positieve lens brengt de lichtstralen dichter bij elkaar en heeft dus een *convergerende werking*. Een negatieve lens laat de lichtstralen juist verder uit elkaar lopen. Een negatieve lens heeft een *divergerende werking*.

Van een voorwerp voor een positieve lens kun je met behulp van de drie constructiestralen het beeld construeren (figuur 49). Je moet dan v en f weten. Met de *lenzenformule*

$\left(\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}\right)$ kun je de plaats van het beeld ook bepalen door de beeldafstand b uit te rekenen.

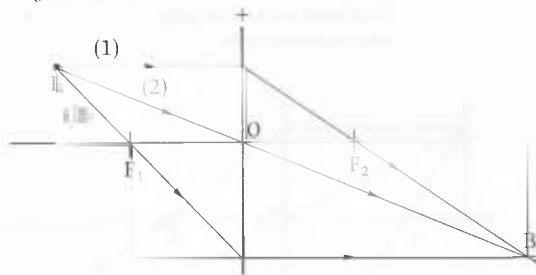
fig. 49

De drie constructiestralen bij een positieve lens.

1 De lichtstraal evenwijdig aan de hoofdas gaat na breking door het brandpunt achter de lens.

2 De lichtstraal door het optisch middelpunt gaat ongebogen door.

3 De lichtstraal door het brandpunt vóór de lens loopt na breking evenwijdig aan de hoofdas.



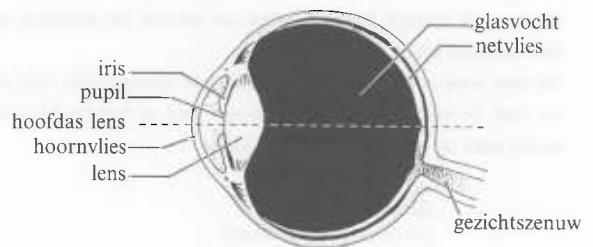
Voorwerp en beeld zijn (anders dan bij spiegeling) meestal niet even groot. Je kunt dus over een vergroting spreken. De *liniare vergroting* is de grootte van het beeld gedeeld door de grootte van het voorwerp. Een vergrotingsfactor 2 betekent dat het beeld twee maal zo groot is als het voorwerp. De vergroting kan ook kleiner dan 1 zijn. Je hebt dan met een verkleining te maken.

In het oog (figuur 50) zit ook een positieve lens. Als je naar een voorwerp in de verte kijkt, dan is je oog ongeaccommodeerd. Bekijk je iets van dichtbij, dan moet je oog zich inspannen om het voorwerp scherp te zien. Je ooglenzen wordt dan boller (de brandpuntsafstand wordt dan kleiner), zodat er toch een scherp beeld op het netvlies komt.

In het oog werkt de pupil als een diafragma. Accommoderen ('aanpassen') verandert de brandpuntsafstand van de ooglenzen.

fig. 50

Een schematische voorstelling van het oog.



Formules, grootheden en eenheden

Formules

1 $\angle i = \angle t$

2 $\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

3 $N_{\text{lin}} = \frac{\text{grootte beeld}}{\text{grootte voorwerp}} = \left| \frac{b}{v} \right|$

Grootheden en eenheden

Grootheid

$\angle i$ hoek van inval

$\angle t$ hoek van terugkaatsing

v voorwerpsafstand

b beeldafstand

f brandpuntsafstand

N liniaire vergroting

Eenheid

$^{\circ}$ (graden)

$^{\circ}$ (graden)

cm of m

cm of m

cm of m

Contexten bij Optica

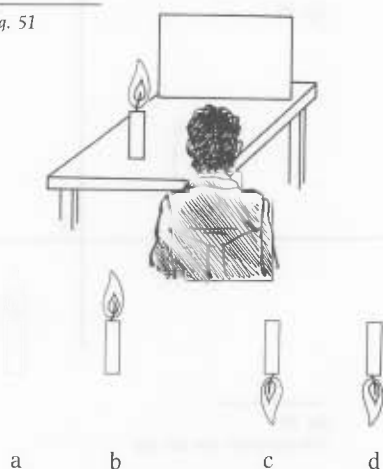
Optische apparatuur

- Afbeelden (diaprojector, vergrotingsapparaat).
- Het maken van foto's (afstandinstelling, belichting, diafragma, sluitertijd).
- Eisen aan optische apparatuur.

Het menselijk lichaam

- De ooglenzen.

fig. 51



1 Een brandende kaars

Voor een rechtopstaande spiegel staat een brandende kaars (figuur 51). Er zijn vier mogelijke beelden getekend.

a Welk beeld ziet de waarnemer in de spiegel?

De kaars wordt vervolgens voor een gaatjescamera gezet. Aan de achterkant is een doorschijnend stuk papier geplakt. Een leerling maakt in een donkere ruimte de opstelling zoals in figuur 52.

b Welk beeld ziet de leerling op het doorschijnende papier? Een nadeel van de gaatjescamera is dat er weinig licht door het gaatje komt. Als je het gaatje groter maakt, valt er meer licht op het doorschijnende papier.

c Bereken wat dat voor gevolgen heeft voor de scherpte van het beeld.

2 Diefstalpreventie

Een bewaker overziet vanuit zijn kantoor een deel van een supermarkt. Een ander deel kan hij zien via een vlakke spiegel. In de supermarkt bevinden zich hoge rekken. In figuur 53 zie je een tekening van een bovenaanzicht van de supermarkt.

a Neem de figuur over en geef aan welk deel van de supermarkt de bewaker via de spiegel kan zien.

b Geef ook aan welk deel de bewaker vanaf zijn plaats *niet* kan zien.

fig. 53

Het bovenaanzicht van een supermarkt.

rek 1



rek 2

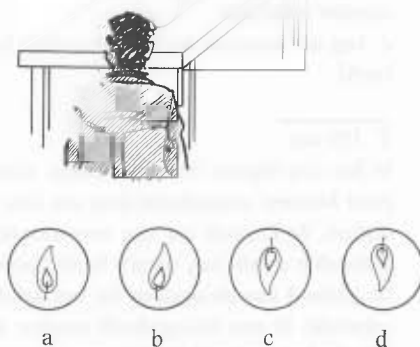


spiegel

oog bewaker •

fig. 52

Een kaars voor een gaatjescamera.



3 Een mislukte foto

Marianne heeft haar vakantiefoto's opgehaald bij de ontwikkelaar. Eén foto is te donker. (De andere foto's zijn wel goed, dus de ontwikkelaar heeft geen fouten gemaakt.) Marianne heeft een fototoestel gebruikt waarop ze zelf het diafragma en de belichtingstijd afzonderlijk moest instellen. Zij moest ook zelf, door aan de lens te draaien, het beeld scherpstellen.

Bereken wat Marianne fout gedaan kan hebben toen ze die mislukte foto maakte, en leg uit waarom de foto te donker werd.

4 De zon schijnt in het water

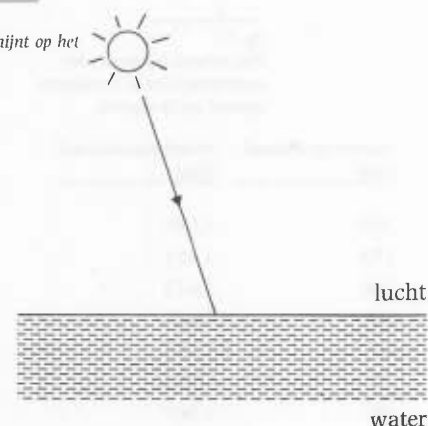
Op een wateroppervlak valt een lichtstraal (figuur 54). Behalve spiegeling treedt er ook breking op.

a Waarom is het onder water altijd donkerder dan boven water?

b Neem de tekening over en teken het verdere verloop van de teruggekaatste en gebroken lichtstralen.

fig. 54

De zon schijnt op het water.



5 Film kijken

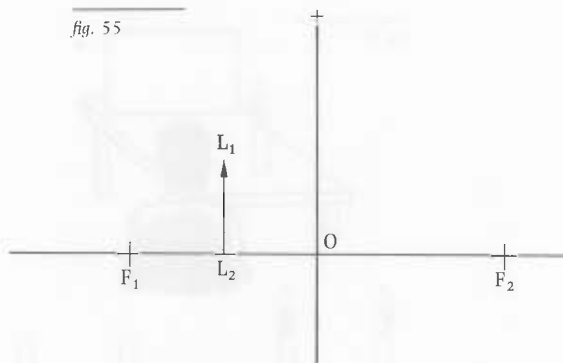
Een bioscoop is zo gebouwd, dat de afstand van de projector-lens tot aan het projectiedoek 36 m is. Het beeldje op de film is 35 mm breed en moet op het filmdoek 7,0 m breed worden. Bereken de brandpuntsafstand van de lens die voor deze projector nodig is.

6 Een lichtende pijl voor een positieve lens

Een voorwerp staat voor een bolle lens (figuur 55).

- Neem de figuur over en construeer het beeld van het voorwerp.
- Bij welk optisch instrument wordt de lens op dezelfde manier gebruikt?
- Leg uit waarom we hier te maken hebben met een virtueel beeld.

fig. 55



7 Het oog

In het oog (figuur 56) zit een lens, waarvan we het brandpunt kunnen veranderen door die lens bolter of minder bol te maken. Zo kunnen we van voorwerpen op verschillende afstanden steeds een scherp beeld vormen op ons netvlies. De afstand van de ooglenzen tot het netvlies is bij een mens constant. In een biologieboek vonden wij een tabel (figuur 57) die het verband geeft tussen de voorwerpsafstand v en de bijbehorende brandpuntsafstand van de ooglenzen.

- Bereken de afstand van de lens tot het netvlies (= beeldafstand) als $v = 100$ cm.
- Neem figuur 58 over en teken daarin de grafiek, die het verband weergeeft tussen de waarden van f en v uit tabel 57.
- Bepaal uit de grafiek de brandpuntsafstand die bij $v = 40$ cm hoort.
- Bepaal van dit oog het nabijheidspunt (dit is de kleinste voorwerpsafstand waarop een voorwerp nog scherp kan worden gezien).
- Waarom kan een voorwerp dat dicht bij het oog ligt dan het nabijheidspunt, niet meer scherp worden gezien?

fig. 56

Een doorsnede van het oog

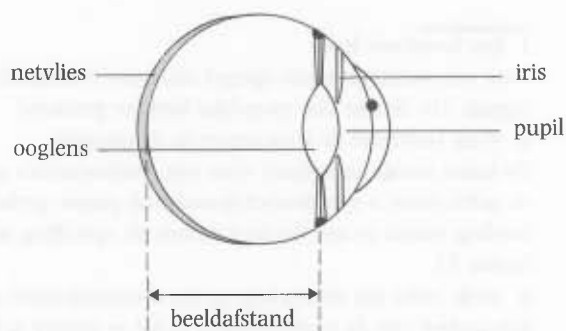
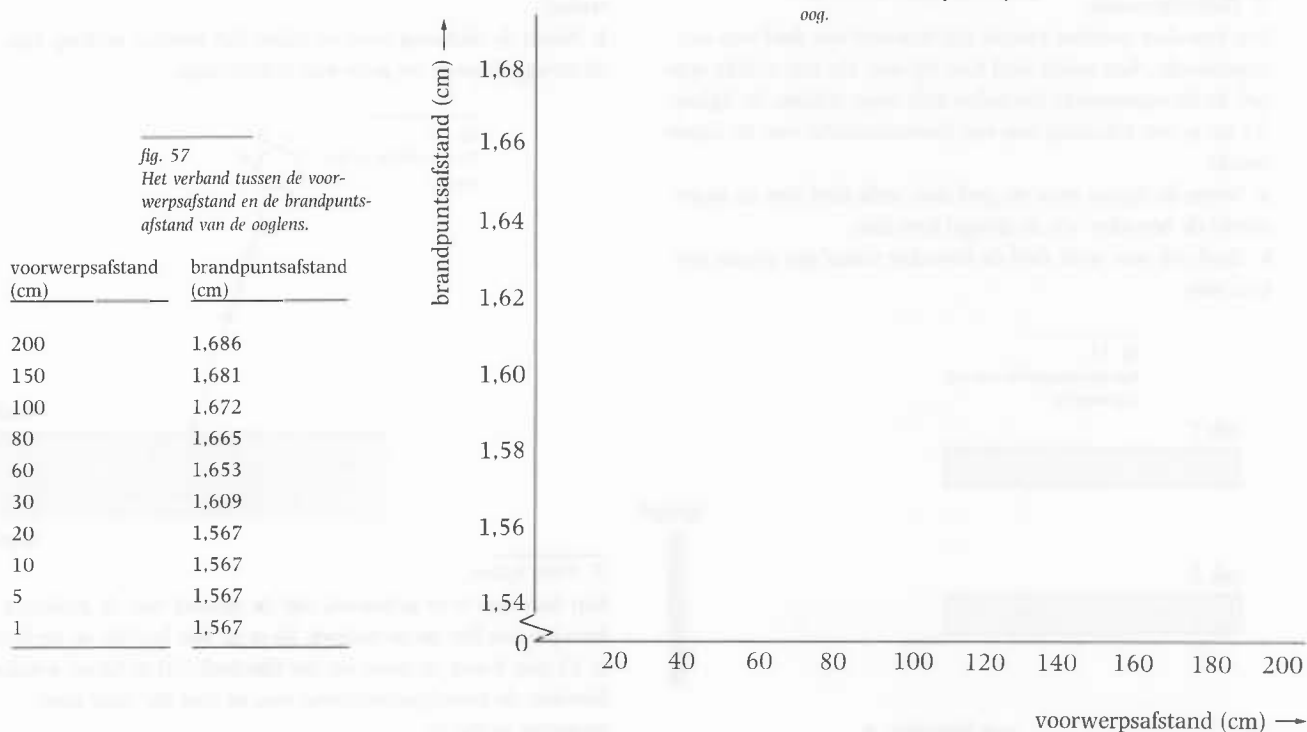


fig. 58

Het verband tussen f en v bij het oog.



Hulp

1 Een brandende kaars

- a Een vlakke spiegel verwisselt alleen links en rechts.
- b De gaatjescamera verwisselt links en rechts en keert het beeld (boven en onder) om.
- c Van een punt van de kaars gaat een (divergerend) lichtbundeltje via het gat naar het doorschijnende papier. Een punt wordt dus als een vlekje afgebeeld.

2 Diefstalpreventie

- a Bepaal eerst de plaats van het spiegelbeeld van het oog van de bewaker in de vlakke spiegel.
- b Teken eerst het deel van de supermarkt dat de bewaker óók nog kan zien door gewoon om zich heen te kijken.

3 Een mislukte foto

Het scherpstellen heeft geen invloed op de belichting van de foto. De grootte van het diafragma en de belichtingstijd zijn wél van invloed.

4 De zon schijnt in het water

- a Er zijn twee redenen waarom het onder water donkerder is.
- b De lichtstraal wordt voor een deel volgens de spiegelwet weerkaatst. Een deel van het licht dringt in het water door.

5 Film kijken

De vergroting is $\frac{7000}{35} = 200$ maal. (Gebruik in de formule dezelfde lengte-eenheden!) Dus: $b = 200 \cdot v$.

6 Een lichtende pijl voor een positieve lens

- a Je kunt twee constructiestralen (door 0 en evenwijdig aan de hoofdas) tekenen.
- b Een lens kan worden gebruikt:
 - als een loep;
 - zoals in een diaprojector;
 - zoals in een fototoestel.
- c Een virtueel beeld kun je niet op een scherm zien.

7 Het oog

- a Bij $v = 100$ cm is $f: 1,672$ cm; bereken b met de lenzenformule.
- b Teken met behulp van figuur 57 punten in het diagram en teken daarna een vloeiende lijn door de punten.
- c Het antwoord kun je uit de grafiek aflezen bij $v = 40$ cm.
- d Als de voorwerpsafstand kleiner wordt, moet de brandpuntsafstand óók steeds kleiner worden. Bij het nabijheidspunt heeft f zijn kleinste waarde.
- e Nu wordt v wel kleiner, maar f blijft even groot.

Blok 24

T6 Atoombouw, elektriciteit en magnetisme

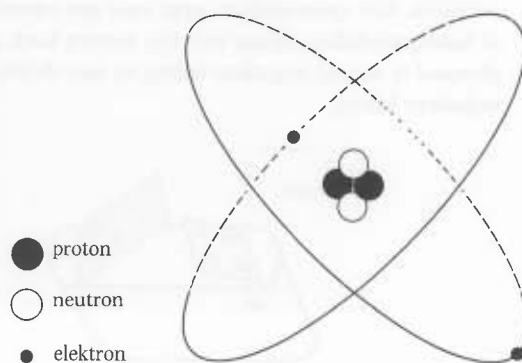
Deze stof is behandeld in de blokken 9, 10, 12, 16 en 18.

Atoombouw

Bij de behandeling van het molekuulmodel heb je gezien dat een stof is opgebouwd uit molekulen. Molekulen bestaan uit nog kleinere deeltjes: atomen. Een atoom bestaat weer uit een kern (met protonen en neutronen) en een elektronenmantel (figuur 59).

De protonen in de kern zijn positief geladen deeltjes. De neutronen zijn neutrale deeltjes. De kern van een atoom is dus positief geladen. Om de kern cirkelen negatief geladen elektronen. Een neutraal ('ongeladen') atoom heeft evenveel protonen in de kern als elektronen in de mantel.

fig. 59
Het model van een atoom.



Een neutraal voorwerp heeft evenveel positieve als negatieve lading en bestaat dus uit neutrale atomen.
 Een negatief geladen voorwerp heeft te veel elektronen en bevat dus (voor een deel) atomen met te veel elektronen.
 Een positief geladen voorwerp heeft te weinig elektronen en bevat dus (voor een deel) atomen met te weinig elektronen.
 Positieve lading trekt negatieve lading aan. Daarom blijven de elektronen bij de kern. De protonen in de kern zijn positief geladen en stoten elkaar af. Vandaar dat er neutronen nodig zijn om een kern stabiel te maken.

De aanwezigheid van neutronen vergroot de gemiddelde afstand tussen de protonen. Daardoor wordt de afstotende kracht tussen de protonen kleiner. Bovendien bestaat er een (zwakke) aantrekkende kracht tussen *alle* kern-deeltjes onderling. Die kan nu evenwicht maken met de onderlinge afstoting tussen de protonen en daardoor blijft de atoomkern stabiel.

Het aantal protonen in de kern bepaalt welk element je hebt. Het aantal neutronen kan bij elk soort atoom een beetje variëren.

Isotopen van één atoomsoort hebben hetzelfde aantal protonen, maar een verschillend aantal neutronen (en dus een verschillende massa).

Als er te veel of te weinig neutronen in de kern zijn, is de kern niet stabiel. Er kan dan een verandering optreden waar-

bij de kern straling uitzendt. In figuur 60 staat een overzicht van de soorten straling die atoomkernen kunnen uitzenden. Straling kan worden geabsorbeerd. Het absorptievermogen is afhankelijk van de soort stof en van de dikte ervan. Een kernreactor heeft dikke betonnen wanden om te voorkomen dat er te veel straling naar buiten komt.

Straling kan gevaarlijk zijn voor mens en dier. Wie met radioactieve materialen omgaat (bijvoorbeeld op de röntgenafdeling van een ziekenhuis) moet zich tegen straling beschermen (bijvoorbeeld door met lood gevoerde schorten). Radioactief materiaal bestaat voor een deel uit niet-stabiele kernen. Deze kernen 'vervallen' en zenden daarbij straling uit. De *activiteit* (A) van een hoeveelheid radioactief materiaal is het aantal kernen dat per seconde vervalt. In het begin is de activiteit groot (veel instabiele kernen), maar deze neemt in de loop van de tijd af.

De tijd waarin de activiteit (en dus ook het aantal instabiele kernen) halveert, heet de *halveringstijd*. De halveringstijd kan variëren van een fractie van een seconde tot miljarden jaren, afhankelijk van de stof waar het om gaat.

fig. 60
Soorten ioniserende straling.

Soorten straling soort deeltje	doordringend vermogen
α : bestaat uit α -deeltjes	gering: wordt tegengehouden door een vel papier; dracht in lucht: enkele cm's.
β : bestaat uit elektronen	in lucht: enkele meters; in metalen: enkele mm's.
γ : straling (geen deeltjes)	zeer groot: zelfs in lood vele cm's.

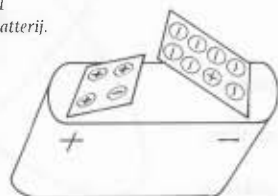
Elektriciteit

Deze stof is behandeld in de blokken 10, 12 en 18.

Elektrische *stroom* is niets anders dan bewegende lading. Gelijkssoortige ladingen stoten elkaar af. Als gelijksoortige lading ergens dicht op elkaar zit, stroomt een deel van die lading – als dat mogelijk is – naar een plaats waar de lading minder dicht op elkaar zit.

Spanning ontstaat door het verschil in ladingsverdeling tussen twee plaatsen. Spanning kan een elektrische stroom veroorzaken. Een *spanningsbron* zorgt voor een constant verschil in ladingsverdeling (figuur 61). Een batterij heeft aan de pluspool te weinig negatieve lading en aan de minpool te veel negatieve lading.

fig. 61
Een batterij.



Voorbeelden van spanningsbronnen zijn: accu, batterij, thermo-element, zonnecel en dynamo.

Met een *spanningsmeter* (voltmeter) meet je de spanning tussen twee punten. Met een *stroommeter* (ampèremeter) meet je de stroomsterkte in een punt. (Onder de stroomsterkte verstaan we de hoeveelheid lading die in één seconde langs een punt stroomt.)

Er zijn stoffen waar de elektrische stroom niet of heel slecht doorheen kan; dit zijn *isolatoren* (bijvoorbeeld hout, kunststoffen, glas). In *geleiders* (metalen) kan de elektrische stroom juist wél gemakkelijk stromen.

Een metaal is zó opgebouwd, dat een deel van de elektronen er vrij in kan bewegen. De geleiding van de elektrische stroom in metalen vindt plaats via deze vrije elektronen. De spanningsbron stuwt de elektronen aan de negatieve pool dicht op elkaar. Hierdoor gaan ze, als er een verbinding is, naar de positieve pool bewegen.

We zeggen echter bij afspraak dat de elektrische stroom *buiten* de spanningsbron van de pluspool naar de minpool loopt; *binnen* de spanningsbron loopt de stroom van de minpool naar de pluspool.

De effecten van elektrische stroom:

- ontstaan van licht en warmte-energie (bijvoorbeeld in een gloeilamp);
- chemische werking (bijvoorbeeld ontleding van water door een gelijkstroom: elektrolyse; het laden van een accu);
- magnetische werking (bijvoorbeeld bij een elektromagneet).

Als de temperatuur constant blijft, is de stroomsterkte door een geleider recht evenredig met de spanning over de geleider (wet van Ohm). $\frac{U}{I} = \text{constant} = R$.

Hoe groter de elektrische weerstand (R) van een draad is, hoe moeilijker de elektrische stroom er doorheen gaat.

Stel: toestel A heeft een grote weerstand R_A en toestel B heeft een kleinere weerstand R_B . Als je over A en B dezelfde spanning U aansluit, loopt door A de kleinste stroom; dus als

$R_A > R_B$ is $I_A < I_B$. Daaruit volgt: $\frac{U}{I_A} > \frac{U}{I_B}$ ofwel $R_A > R_B$.

Hieraan zie je dat het inderdaad zinvol is om het quotiënt $\frac{U}{I}$ de weerstand te noemen.

De weerstand van een draad hangt af van:

- de lengte van de draad (hoe groter de lengte, hoe groter de weerstand);
- de oppervlakte van de doorsnede van de draad (hoe groter die oppervlakte, hoe kleiner de weerstand);
- het soort materiaal (geleiders hebben een kleine weerstand, isolatoren hebben een (zeer) grote weerstand);
- de temperatuur van de draad (meestal geldt: hoe hoger de temperatuur, hoe groter de weerstand; de NTC is daarop een uitzondering).

De weerstand van een draad kun je op twee manieren vaststellen.

1 Je gebruikt de formule: $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$

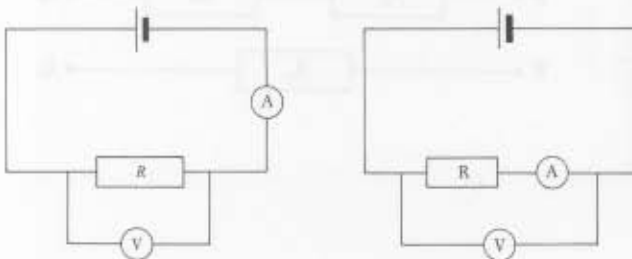
Daarin is

- ρ de soortelijke weerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;
- l de lengte van de draad in m;
- A de oppervlakte van de doorsnede van de draad in mm^2 .

2 Je gebruikt de wet van Ohm: $U = I \cdot R \Rightarrow R = \frac{U}{I}$

fig. 62

Schakelingen om de weerstand van een apparaat te bepalen.



De weerstand van een apparaat bepaal je óók met de wet van Ohm. Hiervoor gebruik je een van de schakelingen van figuur 62.

Als je de spanning over een apparaat (bijvoorbeeld een lamp of een andere weerstand) verandert, dan verandert ook de stroomsterkte door dat apparaat. In een (U, I)-karakteristiek kun je zien welk verband er bestaat tussen de spanning U over het apparaat en de stroomsterkte I door het apparaat. Uit het (U, I)-diagram kun je de weerstand van een apparaat bij bepaalde waarden van U en I bepalen.

In figuur 63 zijn de (U, I)-karakteristieken getekend van een gloeilamp, een 'ohmse' weerstand en van een weerstand met een Negatieve TemperatuurCoëfficiënt (NTC). De weerstand van een NTC wordt kleiner als de temperatuur stijgt.

Behalve de NTC zijn er nog twee 'bijzondere' weerstanden.

- De LDR (Light Dependent Resistor). De weerstand wordt kleiner als er meer licht op de LDR valt.
- De schuifweerstand (figuur 64). Dit is een weerstand waarvan je de waarde kunt instellen.

fig. 63

De (U, I)-karakteristieken van een gloeilamp (L), een ohmse weerstand (R) en een NTC.

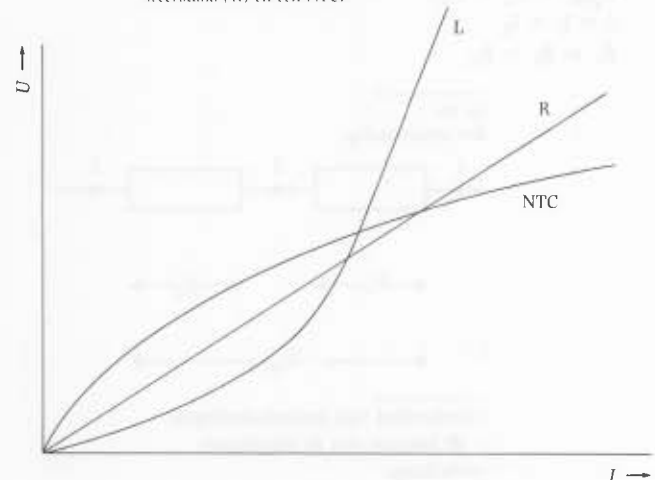


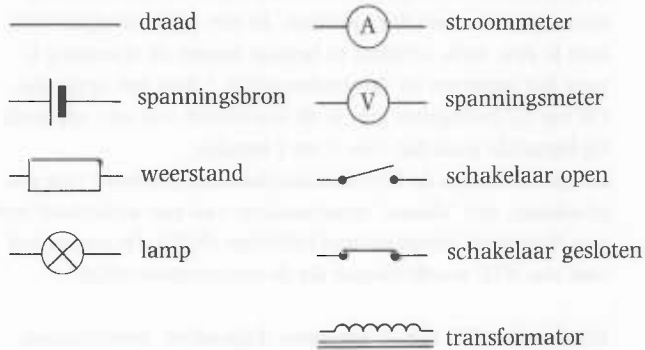
fig. 64

Een schuifweerstand.



Schakelingen teken je met symbolen. In figuur 65 staan de symbolen die je moet kennen.

fig. 65
Symbolen in elektrische schakelingen.



In figuur 66 zie je een *serieschakeling*. De elektrische stroom gaat eerst door het eerste apparaat, dan door het tweede apparaat, enzovoort. De bronspanning verdeelt zich over alle in serie geschakelde apparaten; de stroomsterkte is door elk apparaat even groot.

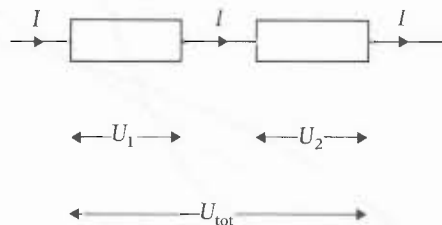
Formules:

$$U_{\text{bron}} = U_1 + U_2$$

$$I = I_1 = I_2$$

$$R_v = R_1 + R_2$$

fig. 66
Een serieschakeling.



Voorbeelden van serieschakelingen:

- de lampjes van de kerstboomverlichting;
- eenzekering in serie met de rest van de groep.

Voorbeelden van parallelschakelingen:

- de lichtpunten en stopcontacten in huis;
- de straatlantaarns.

In figuur 67 zie je een *parallelschakeling*. De elektrische stroom splitst zich over de verschillende takken. Elk apparaat heeft als het ware een eigen aansluiting op de spanningsbron. De spanning over elk apparaat is even groot. De stroomsterkte verdeelt zich; in het apparaat met de grootste weerstand is de stroomsterkte het kleinste.

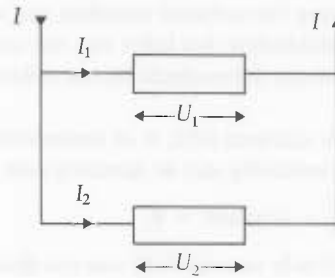
Formules:

$$U_{\text{bron}} = U_1 = U_2$$

$$I_{\text{bron}} = I_1 + I_2$$

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

fig. 67
Een parallelschakeling.

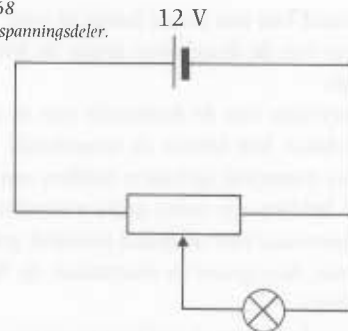


$$U_1 = U_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

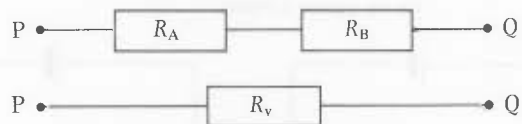
Een speciale schakeling is de schakeling met een *spanningsdeler*. Als je een spanningsbron van 12 V hebt en je wilt een lampje van 3 V laten branden, kun je met de schakeling uit figuur 68 een deel van de spanning van 12 V gebruiken.

fig. 68
Een spanningsdeler.



Onder de *vervangingsweerstand* (R_v) van (een deel van) een schakeling verstaan we: de weerstand, waardoor je de schakeling (of het deel ervan) kunt vervangen, zonder dat de stroomsterkte dóór en de spanning óver de schakeling veranderen. Als R_v de vervangingsweerstand is van R_A en R_B in een serieschakeling (figuur 69) geldt dus: I_{PQ} en U_{PQ} zijn in beide schakelingen gelijk. Als R_v de vervangingsweerstand is

fig. 69
De vervangingsweerstand in een serieschakeling.



van R_C en R_D in een parallelschakeling (figuur 70) geldt: I_{ST} en U_{ST} zijn in beide schakelingen gelijk.

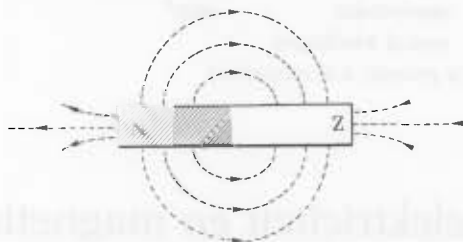
De spanningsbron zorgt voor een constante spanning tussen de pluspool en de minpool. Als er een elektrische stroom loopt moet de spanningsbron daarvoor energie leveren. In een spanningsbron – zoals een batterij of een accu – wordt daartoe chemische energie omgezet in elektrische energie. Het vermogen (P) dat de bron levert, kun je berekenen met $P = U \cdot I$. In de meterkast thuis registreert de kWh-meter hoeveel elektrische energie er gebruikt is. Een apparaat met een vermogen van 1 kW (1000 W) gebruikt in één uur 1 kWh energie. $1 \text{ kWh} = 1000 \cdot 3600 = 3\,600\,000 \text{ J}$.

Magnetisme

Deze stof is behandeld in blok 9

Een magneet kan voorwerpen van ijzer, nikkel of cobalt aantrekken. Een magneet heeft een noordpool (N-pool) en een zuidpool (Z-pool). Twee dezelfde polen stoten elkaar af, twee verschillende polen trekken elkaar aan. In figuur 71 is het magnetisch veld van een staafmagneet getekend.

fig. 71
Het veld van een staafmagneet.



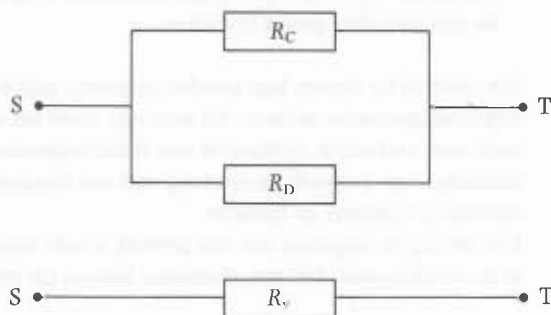
Het magnetisch veld van een magneet wordt gekarakteriseerd door veldlijnen; deze lopen van de N-pool naar de Z-pool. Hoe meer veldlijnen per cm^2 op een bepaalde plaats, des te sterker is daar het magneetveld.

Als je een stuk ijzer of nikkel enige tijd in een magneetveld houdt, wordt het door *influentie* zelf een magneet.

De aarde kun je ook als een reusachtige magneet beschouwen. De magnetische zuidpool ligt in de buurt van de geografische noordpool, de magnetische noordpool ligt in de buurt van de geografische zuidpool.

Een *kompas* maakt gebruik van het magnetisch veld van de aarde. De kompasnaald is zelf een draaibaar magneetje. Het zal met één pool naar het noorden gericht gaan staan; deze pool hebben we daarom de N-pool van de magneet genoemd. (De N-pool van de magneet wijst dus naar de magnetische zuidpool van de aarde.)

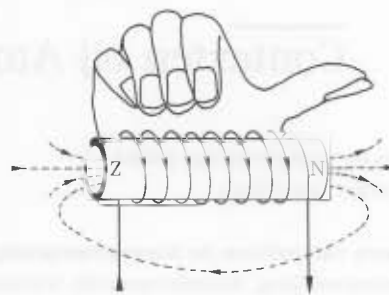
fig. 70
De vervangingsweerstand in een parallelschakeling.



Weekijzer is bijna zuiver ijzer met een laag koolstofgehalte. In een magnetisch veld wordt een stuk weekijzer zelf een magneet. Maar als het veld verdwijnt verliest het weekijzer weer heel snel zijn magnetische eigenschappen.

Je kunt ook een magnetisch veld maken door een elektrische stroom door een spoel te sturen. De plaats van N- en Z-pool hangt af van de richting waarin de elektrische stroom door de spoel rondloopt. We vinden dit verband met de *rechterhandregel*. Buig de vingers van je rechterhand zó over de spoel, dat je vingers in de richting van de stroom wijzen; je gestrekte duim wijst dan in de richting van de veldlijnen (figuur 72). Veldlijnen verlaten de spoel bij de N-pool en gaan naar binnen bij de Z-pool.

fig. 72
De rechterhandregel.



De werking van een relais, een luidspreker en de waakvlambeveiliging berusten op de magnetische eigenschappen van een spoel, waar een elektrische stroom doorheen loopt.

Je kunt een elektromagneet sterker maken door:

- een (weekijzeren) kern in de spoel te plaatsen;
- het aantal windingen per lengte-eenheid te vergroten;
- de stroomsterkte groter te maken.

Een elektrische stroom kan worden opgewekt met behulp van elektromagnetische *inductie*. Als je in een spoel het magnetisch veld verandert, ontstaat er een inductiespanning over de uiteinden van de spoel. De werking van een dynamo en een microfoon berusten op inductie.

Een belangrijk apparaat dat óók gebruik maakt van inductie is de *transformator*. Een transformator bestaat uit twee spoelen en een gesloten weekijzeren kern. In de primaire spoel – aangesloten op een wisselspanningsbron – wekt een veranderende elektrische stroom een wisselend magnetisch veld op. De weekijzeren kern geeft dit veld door naar de secundaire spoel. Dit steeds wisselende veld veroorzaakt een inductiespanning over de secundaire spoel. De stroomsterkte dóór en de spanning óver de secundaire spoel hangen onder meer af van de verhouding tussen het aantal windingen van de primaire en de secundaire spoel.

Formules, grootheden en eenheden

Formules

- 1 $U = I \cdot R$
- 2 $P = U \cdot I$
- 3 $E = P \cdot t$
- 4 $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ (weerstand draad)
- 5 $I = I_1 = I_2$ (bij draden in serie)
- 6 $I = I_1 + I_2$ (bij parallelle draden)
- 7 $R_v = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ (bij serieschakeling)
- 8 $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ (bij parallelschakeling)
- 9 $\frac{I_p}{I_s} = \frac{U_s}{U_p} = \frac{N_s}{N_p}$ (ideale transformator)
- 10 $P_p = P_s$ (ideale transformator)

Grootheden en eenheden

Grootheid	Eenheid
A activiteit	Bq (becquerel)
U spanning	V (volt)
I stroomsterkte	A (ampère)
R weerstand	Ω (ohm)
P vermogen	W (watt)
E energie	J, kWh
t tijd	s
ρ soortelijke weerstand	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
l lengte	m
A oppervlakte	mm^2
N aantal windingen	
(p is primair, s is secundair)	

Contexten bij Atoombouw, elektriciteit en magnetisme

Opnemen en weergeven van geluid

- Luidspreker, microfoon.

Verwarmen van ruimten en warmtevoorziening

- Warmteopwekking, warmtetransport, warmteafgifte.
- Veiligheid (waakvlambeveiliging).

Energievoorziening op grote schaal

- Omzetting van primaire energie in elektriciteit (stoomturbine, waterturbine, zonnecel).
- Transport van energie over grote afstand, transformatie van spanning (transformator).
- Gevaren van elektriciteit.

Elektriciteit en elektrische apparaten in en om het huis

- Spanningsbronnen (accu, batterij, thermo-element).
- Elektrische apparaten (gloeilamp, elektrische kookplaat, soldeerbout, koffiemolen, boormachine).
- Het schakelen van elektrische stroom in huis (huisinstallatie, kWh-meter), elektrisch circuit van voertuigen (auto, fiets).
- Veiligheidsvoorzieningen: smeltveiligheid (zekering, stop), randaarde, elektrische isolatie, zwakstroomvoorzieningen.
- Eisen aan elektrische apparatuur.
- Energiegebruik, rendement.

Het menselijk lichaam

- Gevaren (ioniserende straling, elektrische stroom).
- Gebruik van stralingsbronnen in de gezondheidszorg.

1 Een lithiumatoom

Een lithiumatoom bestaat uit 3 protonen, 4 neutronen en een aantal elektronen.

a Teken dit neutrale lithiumatoom. Gebruik daarbij de symbolen uit figuur 73.

b Teken een isotoop van dit lithiumatoom.

fig. 73

De symbolen voor een proton, neutron en elektron.

\oplus proton

\bigcirc neutron

\ominus elektron

2 Controle van de dikte van de staalplaten

In een fabriek worden stalen platen gemaakt. De dikte van de platen wordt gecontroleerd door zo'n plaat door de opstelling van figuur 74 te bewegen.

Er passeert een plaat die steeds dunner wordt.

a Waaraan merk je bij de meting dat de plaat steeds dunner wordt?

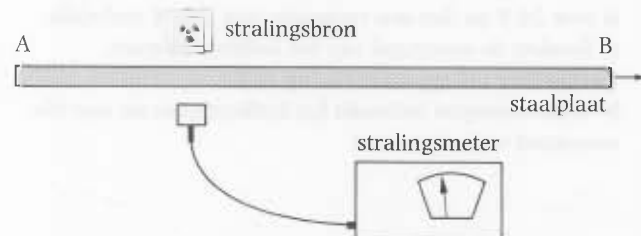
De stralingsbron zendt α - en γ -straling uit.

b Welke soort(en) straling dringen door de staalplaat?

c Waarom gebruikt men bij deze opstelling een radioactieve stof met een grote halveringstijd?

fig. 74

Controle van de dikte van staalplaten met ioniserende straling.



3 Besmet voedsel

Een partij voedsel is besmet met radioactief jodium. Het voedsel heeft daardoor een activiteit gekregen van 1000 Bq per kg. De norm is 250 Bq per kg. Het jodium heeft een halveringstijd van acht dagen.

Na hoeveel dagen voldoet het voedsel voor het eerst aan de norm?

4 De weerstand van een lampje

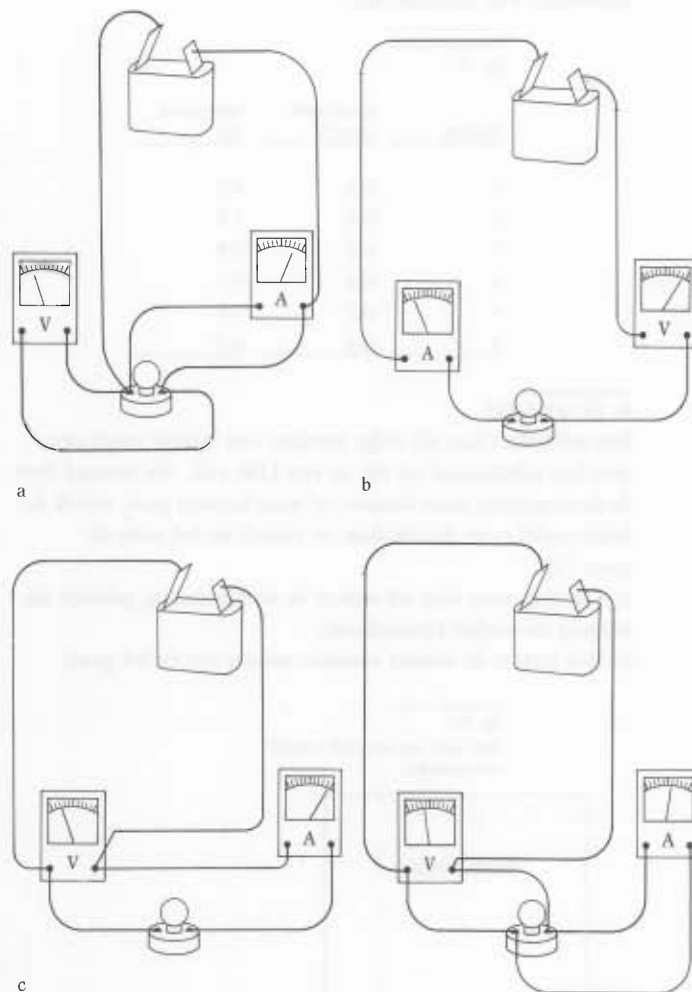
Ans moet een schakeling maken waarmee ze de weerstand van een brandend lampje kan bepalen. In figuur 75 zijn vier schakelingen getekend.

a Welke schakeling is geschikt om de weerstand van het brandende lampje te bepalen?

De stroommeter is aangesloten op de schaal met een maximum van 0,5 A. De spanningsmeter is aangesloten op de schaal met een maximum van 10 V.

b Bereken de weerstand van het lampje uit de metingen bij de juiste schakeling.

fig. 75



5 De weerstand van een draad

Leontine onderzoekt de weerstand van een aantal constantadraden. De draden zijn 1,0 m lang maar hebben verschillende doorsneden. In figuur 76 staan de resultaten van haar metingen.

Leontine heeft geen draad van 1,0 m lengte en $1,0 \text{ mm}^2$ doorsnede. Toch wil ze ook daarvan de weerstand weten.

a Maak van de waarnemingen een grafiek die het verband weergeeft tussen de doorsnede (horizontaal) en de weerstand (verticaal).

b Bepaal uit deze grafiek door extrapolatie de weerstand van een draad van 1,0 m lengte en $1,0 \text{ mm}^2$ doorsnede.

c Bereken uit één van bovenstaande metingen de soortelijke weerstand van constantaan.

fig. 76

meting	doorsnede (mm^2)	weerstand (Ω)
1	0,1	4,5
2	0,3	1,5
3	0,5	0,9
4	0,6	0,7
5	0,7	0,6
6	0,8	0,5

6 De winkelbel

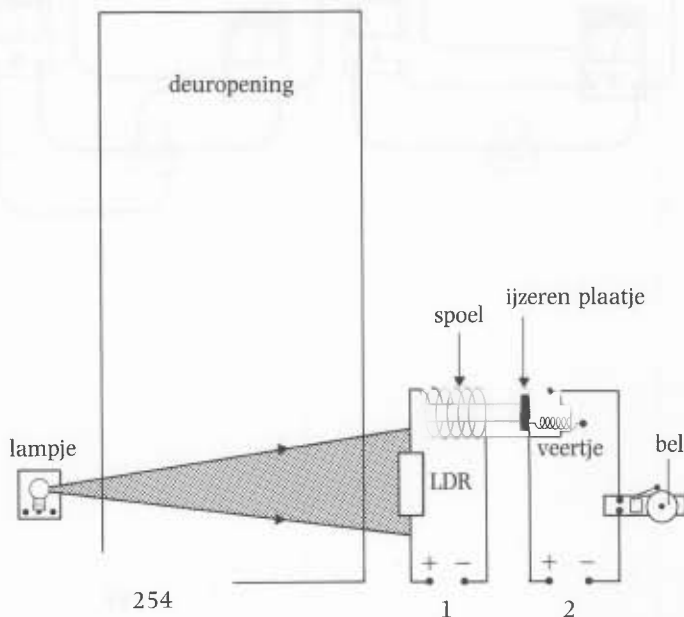
Een winkelbel kan als volgt werken: een lampje zendt een gerichte lichtbundel uit die op een LDR valt. Als iemand door de deuropening naar binnen (of naar buiten) gaat, wordt de lichtbundel even doorbroken en rinkelt de bel even (figuur 77).

a Leg stap voor stap uit wat er in de schakeling gebeurt als iemand de winkel binnenkomt.

b Hoe kun je de winkel verlaten zonder dat de bel gaat?

fig. 77

Een relais met een LDR schakelt een winkelbel.

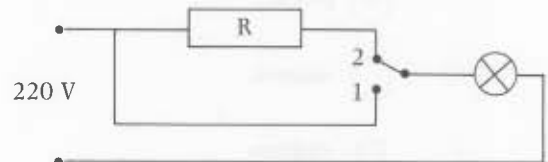


7 De wereldlamp

In sommige landen is de netspanning ongeveer 220 V, in andere landen is de netspanning ongeveer 120 V. Iemand heeft een lamp gemaakt die je op twee standen kunt inschakelen (figuur 76). In stand 1 is de lamp geschikt voor 120 V, in stand 2 is de lamp geschikt voor 220 V.

fig. 78

Een schakeling om een lamp op 220 V of 120 V te laten branden.



a Hoe groot is in figuur 78, bij de getekende stand van de schakelaar, de spanning over de lamp?

De lamp heeft een vermogen van 60 W.

b Bereken de waarde van weerstand R.

De lamp wordt nu aangesloten op een spanning van 220 V, terwijl deze in stand 2 staat. De lamp brandt echter niet. De spanning over de weerstand wordt gemeten. Deze blijkt 0 V te zijn.

c Welke conclusie kun je uit deze meting trekken?

De lamp wordt door een zelfde soort lamp vervangen, maar helaas wordt de schakelaar in stand 1 gezet. Jet sluit, zonder dat te merken, de lamp aan op 220 V.

d Wat gebeurt er, en waarom?

8 Koffiezetten in de auto

Marlies heeft in haar auto een koffiezetapparaat dat geschikt is voor 24 V en dan een vermogen van 160 W verbruikt.

a Bereken de weerstand van het koffiezetapparaat.

Marlies sluit het apparaat aan op 12 V.

b Welk vermogen verbruikt het koffiezetapparaat nu? (De weerstand verandert niet.)



9 Elektrisch koken en koken op gas

Een hoeveelheid water wordt gedurende 4,0 minuten verwarmd met een elektrische dampelaar van 500 W.

a Bereken hoeveel elektrische energie die dampelaar in 4,0 minuten gebruikt heeft.

Als je dezelfde hoeveelheid water met een gasbrander verwarmt, kost dat $0,015 \text{ m}^3$ aardgas. De verbrandingswarmte van aardgas is $30 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$.

b Hoeveel energie heeft de gasbrander gebruikt?

De dampelaar gebruikte minder energie dan de gasbrander. Toch kost elektrisch koken meer fossiele brandstof dan koken op gas.

c Leg uit waarom elektrisch koken meer fossiele brandstof kost.

10 Een magneet

In figuur 79 is een staafmagneet getekend.

a Op welke plaats (1, 2 of 3) blijft een ijzeren spijkertje niet aan de magneet hangen?

fig. 79

Een staafmagneet.



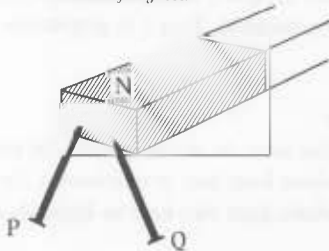
Twee spijkers hangen naast elkaar aan de noordpool van een magneet (figuur 80).

b Welke polen zijn bij P en Q ontstaan?

c Hoe blijkt dat uit de figuur?

fig. 80

Twee spijkers aan de N-pool van een staafmagneet.



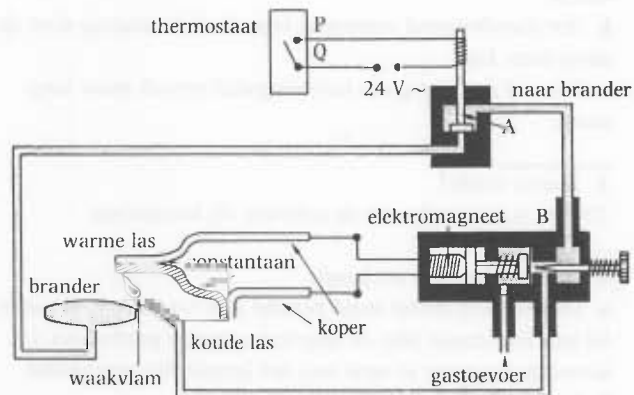
11 De waakvlambeveiliging

In een gasboiler is een waakvlambeveiliging aangebracht (figuur 81). De waakvlam verwarmt een las van een thermo-element. Het thermo-element is aangesloten op een elektromagneet. Als de waakvlam uitgaat blijft de toevoer van het gas afgesloten.

Leg uit hoe de beveiliging werkt.

fig. 81

De waakvlambeveiliging van een boiler.



12 Een transformator

De primaire spoel van een ideale transformator wordt aangesloten op een wisselspanningsbron van 24 V. Aan de secundaire kant brandt een lampje op een spanning van 6,0 V (figuur 82).

Het lampje heeft dan een weerstand van 30Ω .

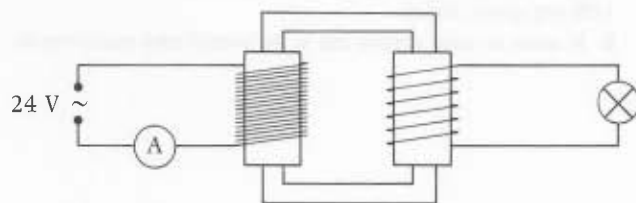
a Bereken de stroomsterkte die de stroommeter in figuur 82 aangeeft.

De secundaire spoel heeft 400 windingen.

b Bereken het aantal windingen van de primaire spoel.

fig. 82

Een lampje is aangesloten op een transformator.



Hulp

1 Een lithiumatoom

- a Het atoom is neutraal, dus het heeft evenveel protonen als elektronen.
- b Een isotoop heeft hetzelfde aantal protonen.

2 Controle van de dikte van staalplaten

- a Hoe dunner de plaat, hoe minder straling tegengehouden wordt.
- b Het doordringend vermogen bepaalt of de straling door de plaat heen kan.
- c Een stof met een grote halveringstijd vervalt maar langzaam.

3 Besmet voedsel

250 Bq is éénvierde van de activiteit bij besmetting.

4 De weerstand van een lampje

- a De spanningsmeter moet parallel aan het lampje, of parallel aan het lampje plus de ampèremeter zijn geschakeld. De stroommeter moet in serie met het lampje zijn geschakeld.
- b In de juiste schakeling meet je:

$$U = \frac{3,5}{15} \cdot 10 = 2,33 \text{ V.}$$

$$I = \frac{14,5}{15} \cdot 0,5 = 0,48 \text{ A.}$$

5 De weerstand van een draad

- a Verticaal: de weerstand maximaal 5 Ω .
Horizontaal: de doorsnede maximaal 1,0 mm².
- b Trek de grafiek verder door en lees af bij 1,0 mm².
- c De formule $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ invullen. Bijvoorbeeld meting 4:
 $l = 1,0 \text{ m}$, $A = 0,6 \text{ mm}^2$ en $R = 0,7 \Omega$.

6 De winkelbel

- a Een klant loopt door de lichtbundel, zodat er geen licht meer op de LDR valt. Hierdoor wordt de weerstand van de LDR erg groot, zodat...
- b Je moet er voor zorgen dat je de bundel niet onderbreekt.

7 De wereldlamp

- a De lamp brandt goed als hij aangesloten is op 120 V en in stand 1 staat.
- b De spanning over de lamp is 120 V. Het vermogen van de lamp is dan 60 W. Je kunt de stroomsterkte door de lamp berekenen. De weerstand staat in serie met de lamp.
- c De spanning in een serieschakeling verdeelt zich over de weerstanden. Over de grootste weerstand staat de meeste spanning.
- d Er staat nu een spanning van 220 V over de lamp.

8 Koffiezetten in de auto

- a $P = U \cdot I$; bereken I . $R = \frac{U}{I}$; bereken R .

- b De spanning en de stroomsterkte zijn half zo groot.

9 Elektrisch koken en koken op gas

- a 4,0 min = 240 s. $E = P \cdot t$.
- b 1 m³ gas levert $30 \cdot 10^6 \text{ J}$ energie.
- c In de elektriciteitscentrale moet fossiele brandstof worden verstoofd om elektrische energie op te wekken.

10 Een magneet

- a De krachten zijn aan de polen het grootst.
- b De spijker wordt aangetrokken. Ongelijknamige polen trekken elkaar aan, gelijknamige polen stoten elkaar af.

11 De waakvlambeveiliging

Zolang de las van het thermo-element warm is, loopt er een elektrische stroom door de spoel, waardoor de elektromagneet werkt en het weekijzer aantrekt. Veer 1 is gespannen en de gastoevoer is open.

12 Een transformator

- a en b De stroommeter meet de stroomsterkte. De stroomsterkte aan de secundaire kant kun je uitrekenen. De spanning is aan de secundaire kant vier keer zo klein als aan de primaire kant.