



Blok 9

INHOUD

EXAMENSTOF

T1	Mechanica	226
W1		236
T2	Geluid	238
W2		240
T3	Vaste stoffen, vloeistoffen en gassen	241
W3		244
T4	Energie	246
W4		248
T5	Optica	249
W5		252
T6	Atoombouw, elektriciteit en magnetisme	253
W6		259



Herhaling

INLEIDING

In dit blok krijg je een overzicht van de volledige examenstof. Iedere paragraaf begint met een T-blad, waarin per onderwerp wordt aangegeven in welke blokken van de verschillende delen dat onderwerp behandeld is. Als je meer wilt weten, moet je dat in de genoemde blokken opzoeken.

Per onderwerp is er ook een W-blad, waarin de stof nog eens geoefend wordt.

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

Behandeld in blok 4 en 6 deel 1mhv natuurkunde, blok 6 deel 2mhv natuurkunde, blok 3 en 5 deel 1vm, blok 5 deel 2vm-plus en blok 5, 6 en 8 deel 4cd natuurkunde.

Eenparige beweging

Als een voorwerp met constante snelheid beweegt, geldt dat de stuwkracht *gelijk* is aan de wrijvingskracht. De resulterende kracht is dan 0 N. De snelheid van zo'n *eenparige beweging* is eenvoudig te berekenen:

$$\text{snelheid} = \frac{\text{afstand}}{\text{tijdsduur}}$$

FIG. 1 Een tikkerstrook.



FIG. 3 Een luchtkussenbaan.



Of in formulevorm:

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

Deze formule wordt vaak geschreven als:

$$s = v \cdot t$$

Een beweging kun je onderzoeken met:

- een tikkerstrook (figuur 1);
- een stroboscopische foto (figuur 2);
- een luchtkussenbaan (figuur 3 en 4).

FIG. 2 Een stroboscopische foto.

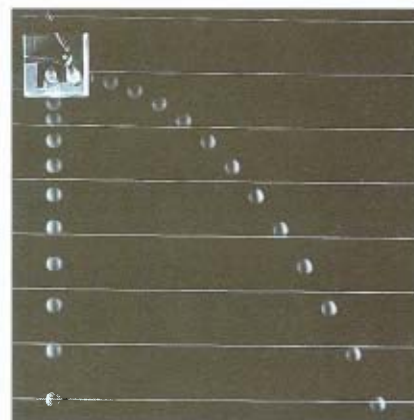


FIG. 4 Een wagentje voor de luchtkussenbaan.

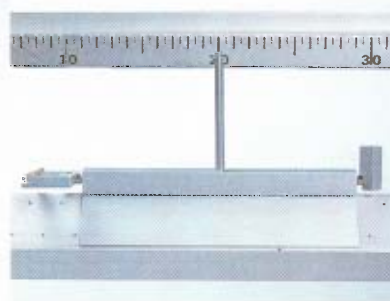


FIG. 5 Een snelheid-tijddiagram.

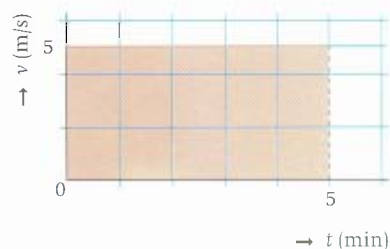


FIG. 6 Krachten bij het fietsen.



VOORBEELD 1

Jeanine fietst met constante snelheid naar school. Ze trapt met een kracht van 30 N. Het snelheid-tijddiagram van haar fietstocht is getekend in figuur 5.

1 Hoe groot is de wrijvingskracht die Jeanine ondervindt?

2 Bereken de afstand die Jeanine heeft afgelegd na 5 minuten fietsen.

1 Bij een constante snelheid is de trapkracht gelijk aan de wrijvingskracht. De wrijvingskracht is dus ook 30 N (figuur 6).

2 De eerste oplosmethode gaat als volgt.

Gegeven:

$v = 5 \text{ m/s}$ (zie figuur 5)

$t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$

Gevraagd:

s

Formule:

$$s = v \cdot t$$

Oplossing:

$$s = 5 \times 300 = 1500 \text{ m}$$

Jeanine woont dus 1,5 km van haar school.

Er is ook nog een tweede oplosmethode.

Gegeven:

Het snelheid-tijddiagram van figuur 5.

Gevraagd:

s

Formule:

$s = \text{oppervlakte onder de grafiek}$

Oplossing:

$$s = \text{lengte} \times \text{breedte}$$

$$s = 300 \times 5 = 1500 \text{ m}$$

Je ziet dat beide manieren hetzelfde resultaat geven. Bij deze opgave kun je dus zelf je oplossingsmethode kiezen.

VOORBEELD 2

Een speelgoedautootje rijdt met constante snelheid.

Van de beweging is een tikkerstrook op schaal gemaakt (figuur 7). Met behulp van deze tikkerstrook is een afstand-tijddiagram getekend (figuur 8). De punten van het afstand-tijddiagram vind je door op je tikkerstrook (of op de stroboscopische foto) steeds de totale afstand op te meten (vanaf het begin tot het betreffende punt). In figuur 7 zijn dat de afstanden s_1 , s_2 , s_3 enzovoorts.

FIG. 7 De tikkerstrook van een beweging met constante snelheid.

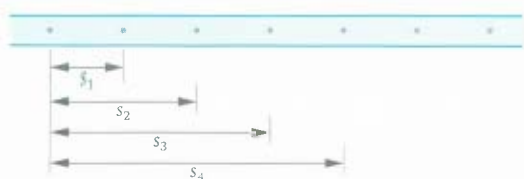
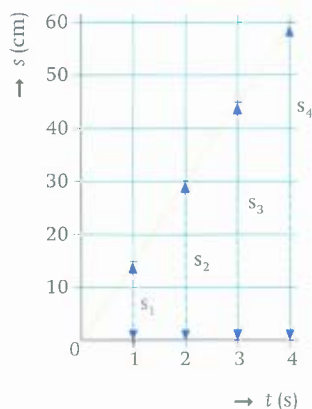


FIG. 8 Het afstand-tijddiagram van deze beweging.



Teken het snelheid-tijddiagram van deze beweging.

Gegeven:

$$s = 15 \text{ cm}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

Gevraagd:

v

Formule:

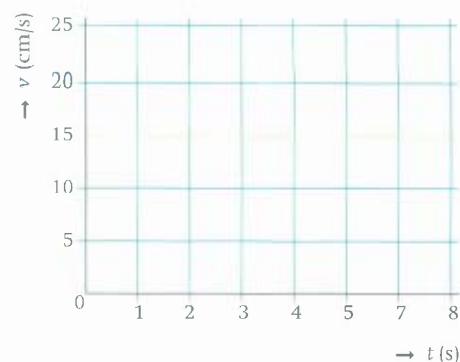
$$v = \frac{s}{t}$$

Oplossing:

$$v = \frac{15}{1} = 15 \text{ cm/s}$$

De snelheid van het autootje was constant en blijft 15 cm/s (figuur 9).

FIG. 9 Het snelheid-tijddiagram van deze beweging.



Eenparig versnelde beweging

Als de snelheid van een voorwerp toeneemt, geldt dat de stuwkracht *groter* is dan de wrijvingskracht. De resulterende kracht is groter dan 0 N. De snelheidstoename kun je berekenen met de formule:

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

In deze formule geldt:

F is de resulterende kracht in N;

Δt is de tijdsduur in s;

m is de massa van het voorwerp in kg;

Δv is de snelheidstoename in m/s.

De snelheid van een *eenparig versnelde* beweging neemt gelijkmatig toe. Dat wil zeggen: de snelheidstoename is in elke seconde gelijk. Het getal waarmee de snelheid in elke seconde toeneemt, noemen we de *versnelling* a . De formule om a te berekenen is:

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

Als je deze formule invult in de formule $F \Delta t = m \cdot \Delta v$, vind je na enig 'gesleutel':

$$F = m \cdot a$$

In sommige opgaven is het handiger om deze formule te gebruiken.

Als je de afstand die een versnellend voorwerp heeft afgelegd wilt uitrekenen, kun je gebruik maken van twee formules. De eerste formule luidt als volgt:

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

De gemiddelde snelheid v_{gem} vind je door de beginsnelheid en de eindsnelheid op te tellen en dan door 2 te delen.

De tweede formule ziet er wat ingewikkelder uit:

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

Als er een snelheid-tijddiagram is gegeven, kun je de afstand ook nog bepalen door de oppervlakte onder de grafiek te berekenen.

VOORBEELD 3

Een auto met een massa van 1000 kg trekt op. De auto ondervindt gedurende 15 s een resulterende kracht van 2000 N.

- 1 Bereken de snelheid van de auto na 15 s.
- 2 Bereken de versnelling die de auto ondervindt.
- 3 Bereken de afstand die de auto aflegt in 15 s.

1 Gegeven:

$$F = 2000 \text{ N}$$

$$\Delta t = 15 \text{ s}$$

$$m = 1000 \text{ kg}$$

Gevraagd:

$$\Delta v$$

Formule:

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

Oplossing:

$$2000 \times 15 = 1000 \times \Delta v$$

$$1000 \Delta v = 30\,000$$

$$\Delta v = 30 \text{ m/s}$$

De auto rijdt na 15 s dus $30 \text{ m/s} = 108 \text{ km/u}$.

2 Gegeven:

$$\Delta v = 30 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 15 \text{ s}$$

Gevraagd:

$$a$$

Formule:

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

Oplossing:

$$a = \frac{30}{15} = 2 \text{ m/s}^2$$

- 3 De eerste oplosmethode maakt gebruik van v_{gem} .

Gegeven:

$$v_b = 0 \text{ m/s}$$

$$v_e = 30 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 15 \text{ s}$$

Gevraagd:

$$s$$

Formule:

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

Oplossing:

$$v_{\text{gem}} = \frac{v_b + v_e}{2} = 15 \text{ m/s}$$

$$s = 15 \times 15 = 225 \text{ m}$$

De tweede oplosmethode werkt als volgt.

Gegeven:

$$F = 2000 \text{ N}$$

$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$v_e = 30 \text{ m/s}$$

$$v_b = 0 \text{ m/s}$$

Gevraagd:

s

Formule:

$$Fs = \frac{1}{2} m \cdot v_e^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_b^2$$

Oplossing:

$$2000 \times s = \frac{1}{2} \times 1000 \times 30^2 - \frac{1}{2} \times 1000 \times 0^2$$

$$2000 \times s = 500 \times 900$$

$$s = \frac{450\,000}{2000} = 225 \text{ m}$$

Je ziet dat beide manieren hetzelfde resultaat geven. Bij deze opgave kun je dus zelf je oplossingsmethode kiezen.

Eenparig vertraagde beweging

Als de snelheid van een voorwerp afneemt, geldt dat de stuwkracht *kleiner* is dan de wrijvingskracht. De resulterende kracht is kleiner dan 0 N. Als er gesproken wordt over remmen, dan is de stuwkracht meestal 0 N en wordt de wrijvingskracht vaak remkracht genoemd. De snelheidsafname kun je berekenen met de formule:

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

In deze formule geldt:

F is de resulterende kracht in N;

Δt is de tijdsduur in s;

m is de massa van het voorwerp in kg;

Δv is de snelheidsafname in m/s.

De snelheid van een *eenparig vertraagde* beweging neemt gelijkmatig af. Dat wil zeggen: de snelheidsafname is in elke seconde gelijk. Het getal waarmee de snelheid in elke seconde afneemt, noemen we de *vertraging* a (negatieve versnelling). De formule om a te berekenen is:

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

Als je deze formule invult in de formule $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$, ontstaat weer de formule:

$$F = m \cdot a$$

In sommige opgaven is het handiger om deze formule te gebruiken.

Als je de afstand die een vertragend voorwerp heeft afgelegd wilt uitrekenen, kun je gebruik maken van twee formules. De eerste formule is:

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

De gemiddelde snelheid v_{gem} vind je door de beginsnelheid en de eindsnelheid (vaak 0 bij remmen) op te tellen en dan door 2 te delen.

De tweede formule ben je eveneens al tegengekomen bij de eenparig versnelde beweging:

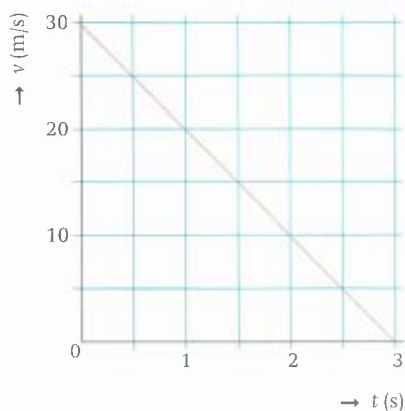
$$Fs = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{begin}}^2$$

Als er een snelheid-tijddiagram is gegeven kun je de afstand ook nog bepalen door de oppervlakte onder de grafiek te berekenen.

VOORBEELD 4

Een auto met een massa van 1000 kg rijdt 108 km/u. De auto remt af en komt tot stilstand in 3 s. Van deze beweging is het snelheid-tijddiagram getekend in figuur 10.

FIG. 10 Snelheid-tijddiagram van een remmende auto.



- 1 Bereken de vertraging die de auto ondervindt.
- 2 Bereken de remkracht (resultierende) kracht die de auto ondervindt.
- 3 Bereken de remweg van de auto.

1 Gegeven:

$$v_b = 108 \text{ km/u} = 30 \text{ m/s}$$

$$v_e = 0 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 3 \text{ s}$$

Gevraagd:

a

Formule:

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

Oplossing:

$$a = \frac{-30}{3} = -10 \text{ m/s}^2$$

2 Gegeven:

$$m = 1000 \text{ kg}$$

$$a = -10 \text{ m/s}^2$$

Gevraagd:

F

Formule:

$$F = m \cdot a$$

Oplossing:

$$F = 1000 \times -10 = -10\,000 \text{ N}$$

De *min* in het antwoord geeft aan dat het om een *remkracht* gaat.

3 Bij de eerste oplosmethode passen we de formule van v_{gem} toe.

Gegeven:

$$v_b = 30 \text{ m/s}$$

$$v_e = 0 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 3 \text{ s}$$

Gevraagd:

s

Formule:

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

Oplossing:

$$v_{\text{gem}} = \frac{v_b + v_e}{2} = 15 \text{ m/s}$$

$$s = 15 \times 3 = 45 \text{ m}$$

Bij de tweede oplosmethode bepalen we de oppervlakte onder de grafiek van figuur 10.

Gegeven:

Het snelheid-tijddiagram van figuur 10.

Gevraagd:

s

Formule:

$s =$ oppervlakte onder de grafiek

Oplossing:

Voor de oppervlakte van een driehoek geldt:

$$s = \frac{1}{2} \times \text{basis} \times \text{hoogte}$$

$$s = \frac{1}{2} \times 3 \times 30 = 45 \text{ m}$$

Je ziet dat beide manieren weer hetzelfde resultaat geven. Bij deze opgave kun je dus zelf je oplossingsmethode kiezen.

Bijzondere bewegingen

DE VALBEWEGING

Als je een voorwerp laat vallen, dan 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 *valsnelheid* op een bepaald moment kun je berekenen met de formule:

$$v = g \cdot \Delta t$$

In deze formule geldt:

v is de valsnelheid in m/s ;

g is de valversnelling $= 10 \text{ m/s}^2$;

Δt is de tijd dat het voorwerp valt in s.

Voor het berekenen van de *valhoogte* kun je twee formules gebruiken:

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

of:

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

DE CIRKELBEWEGING

Een voorwerp dat met een *constante snelheid in een cirkel beweegt*, voert een zogenaemde *eenparige cirkelbeweging* uit.

De snelheid van zo'n voorwerp noemen we de *omtrek-snelheid* (omdat de beweging langs de omtrek van een cirkel is).

De tijd die het voorwerp nodig heeft voor één rondje (omwenteling), noemen we de *omlooptijd* T .

De omtreksnelheid v kun je berekenen met:

$$v = \frac{\pi \cdot d}{T}$$

In de praktijk wordt vaak niet de omlooptijd gegeven maar het *toerental* n . Dit is het *aantal omwentelingen per minuut*.

Als n gegeven is, kun je T berekenen met:

$$T = \frac{60}{n}$$

Voor de cirkelbeweging van wielen geldt het volgende:

Als een voertuig met wielen op een normale manier rijdt (dus zonder slippen), *dan is de snelheid van het voertuig gelijk aan de omtreksnelheid van de wielen*.

Je moet drie soorten overbrengingen kennen:

- 1 tandwieloverbrenging;
- 2 kettingoverbrenging;
- 3 snaaroverbrenging.

Voor snaaroverbrengingen geldt:

$$n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2$$

Voor tandwiel- en kettingoverbrengingen geldt:

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2$$

In deze formules geldt:

n_1 is het toerental van het aandrijvende (tand)wiel;
 n_2 is het toerental van het aangedreven (tand)wiel;
 d_1 is de diameter van het aandrijvende wiel;
 d_2 is de diameter van het aangedreven wiel;
 z_1 is het aantal tanden van het aandrijvende tandwiel;
 z_2 is het aantal tanden van het aangedreven tandwiel.

Onder de overbrengingsverhouding verstaan we de verhouding van de toerentallen van de (tand)wielen bij één van drie soorten overbrengingen. In formule:

$$\text{overbrengingsverhouding} = \frac{n_2}{n_1}$$

Krachten

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

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

$$F_z = m \cdot g$$

In deze formule is:

m 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 11 is dat voor twee krachten voorgedaan. De grootte van de resultante bepaal je met de krachtschaal.

Je kunt ook andersom werken: als een kracht bekend is, kun je die kracht ontbinden in twee componenten F_x en F_y (figuur 12). Je moet dan een parallellogram (in dit geval een rechthoek) tekenen met de gegeven kracht als diagonaal.

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 .

FIG. 11 Het optellen van twee vectoren met de parallellogramconstructie.

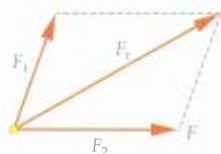


FIG. 12 Het ontbinden van een kracht in twee componenten.

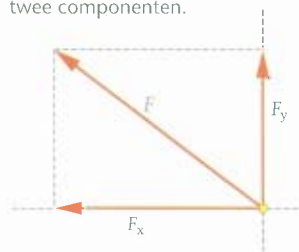
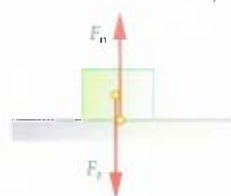


FIG. 13 De normaalkracht F_n maakt evenwicht met F_z .



VOORBEELD 5

Een voorwerp met een massa van 5,0 kg staat op de grond (figuur 13).

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

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

VOORBEELD 6

Een voorwerp met een massa van 5,0 kg hangt aan twee touwen (figuur 14).

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

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

Een andere bijzondere kracht die je moet kennen is de *opwaartse kracht* F_{opw} .

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 vier mogelijkheden (figuur 15):

FIG. 15 Een voorwerp zinkt, zweeft, stijgt of drijft.

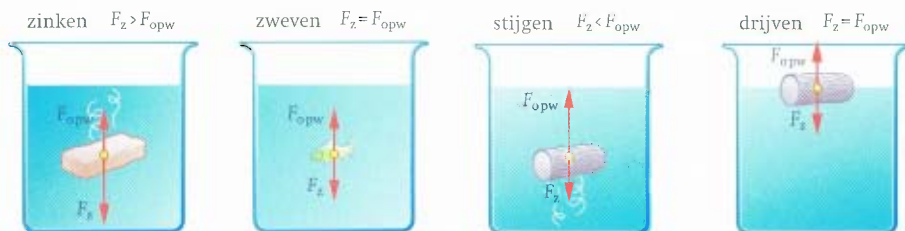
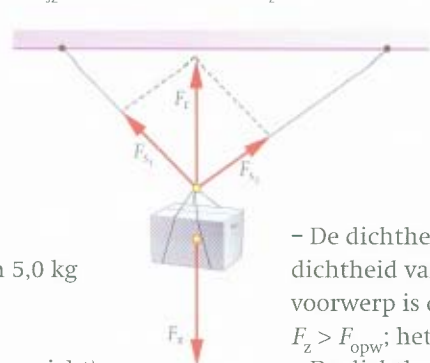


FIG. 14 De resultante van de spankrachten F_{s1} en F_{s2} maakt evenwicht met F_z .



– 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:

$$F_z > F_{opw}; \text{ het voorwerp zinkt.}$$

– 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: $F_z < F_{opw}$; het voorwerp gaat stijgen.

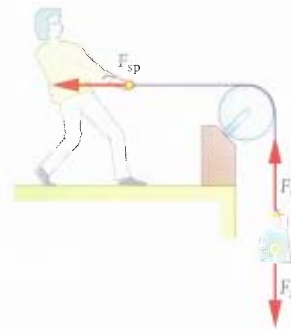
– Als het voorwerp eenmaal *drijft* geldt: $F_z = F_{opw}$. Een deel van het drijvende voorwerp steekt dan boven de vloeistof uit, zodat er minder vloeistof wordt verplaatst en de resulterende kracht op het voorwerp 0 N wordt.

Krachten toegepast in apparaten

DE KATROL

Een vaste katrol verandert de richting van een kracht, maar niet de grootte ervan (figuur 16).

FIG. 16 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.

Wanneer is er evenwicht van krachten die een draai-beweging willen veroorzaken bij een hefboom?

Antwoord: als het totale moment tegen de wijzers van de klok in gelijk is aan het totale moment met de wijzers van de klok mee.

In formulevorm wordt dit:

$$M_+ = M_-$$

Dit heet de *momentenwet*.

De afzonderlijke momenten bereken je met:

$$M = F \cdot l$$

In deze formule is:

M het moment van de kracht in Nm;

F de kracht in N;

l de arm van de kracht in m.

Kracht, arbeid en 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 (afstand). De eenheid van arbeid is Nm = joule.

VOORBEELD 7

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.

Gegeven:

$$F = 40 \text{ N}$$

$$s = 50 \text{ m}$$

Gevraagd:

W

Formule:

$$W = F \cdot s$$

Oplossing:

$$W = 40 \times 50 = 2000 \text{ Nm} = 2000 \text{ J}$$

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 energie. Dit kan zijn:

- warmte (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):

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ en de zwaarte-energie: } E_z = m \cdot g \cdot h.$$

De mechanische energie is constant als op een voorwerp alleen de zwaartekracht werkt. We schrijven $E_k + E_z = \text{constant}$ of:

$$(E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

VOORBEELD 8

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

Hoe hoog komt de kogel?

Gegeven:

De beginsituatie is beneden, de eindsituatie in het hoogste punt.

$$h_b = 0 \text{ m}$$

$$v_b = 40 \text{ m/s}$$

$$v_e = 0 \text{ m/s}$$

$$m = 2,0 \text{ kg}$$

Gevraagd:

$$h_e$$

Formule:

$$(E_k + E_z)_{\text{begin}} = (E_k + E_z)_{\text{eind}}$$

Oplossing:

$$\frac{1}{2} \times 2 \times 40^2 + 2 \times 10 \times 0 = \frac{1}{2} \times 2 \times 0^2 + 2 \times 10 \times h_e$$

$$1600 = 20 \times h_e$$

$$h_e = \frac{1600}{20} = 80 \text{ m}$$

Formules en eenheden

Gebruik je informatieboekje. Daar vind je in schema 5 een samenvatting van de formules van de mechanica. Merk op dat sommige formules iets anders genoteerd staan dan in dit boek. Houd daar rekening mee! In schema 4 vind je de grootheden en eenheden uit de mechanica (samen met de rest van grootheden en de eenheden die je moet kunnen gebruiken).

- 1 Bart en Aernout doen een proef met een speelgoed-auto die een opwindmotor bezit. Ze bevestigen achter aan de auto een strook papier. Ze laten de auto los. De auto trekt de strook papier door een tijdtikker. De tijdtikker zet om de $\frac{1}{50}$ s een stip. In de tekening zie je een gedeelte van de strook op ware grootte (figuur 17). De stippen op de strook zijn genummerd.

Bart en Aernout willen, door nauwkeurig te meten, bepalen hoe de snelheid van de auto verandert.

- a Tussen welke twee stippen is de gemiddelde snelheid van de auto het grootst?

- A tussen stip 7 en stip 8
- B tussen stip 8 en stip 9
- C tussen stip 9 en stip 10
- D tussen stip 10 en stip 11
- E tussen stip 11 en stip 12

Neem aan dat de snelheid van de auto tussen stip 11 en stip 12 constant is.

- b Bereken deze snelheid.

- 2 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 hoe lang het duurt voordat hij stilstaat. Hij rekent vervolgens uit dat zijn brommer precies aan de minimale eis voldoet.

- a Bereken de afstand die Jan bij het remmen heeft afgelegd.

Nu neemt Jan zijn vriendin achterop. De remkracht is nog steeds even groot.

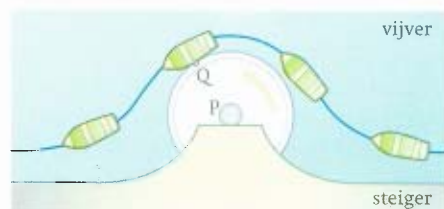
- b Beredeneer of de brommer van Jan nu nog steeds aan de eis voldoet. Gebruik bij je uitleg een formule.

FIG. 17 Een tikkerstrook.



- 3** Maartje laat een stuiterbal van een hoogte van 0,8 m loodrecht omlaag vallen. De luchtwrijving mag je verwaarlozen.
- a** Bereken de snelheid waarmee de stuiterbal de grond bereikt.
- De bal stuift verticaal omhoog tot 0,6 m boven de grond.
- b** Hoe komt het dat de bal niet tot 0,8 m omhoog stuift?
- De massa van de bal is 100 g.
- c** Bereken de zwaarte-energie die de bal heeft op 0,6 m hoogte.
- 4** In de Efteling maakt men gebruik van een draaiende schijf om in en uit een bewegend bootje te stappen. De bootjes komen langs een draaiende schijf. Zonder dat de snelheid van de bootjes afneemt, komen zij tegen de draaiende schijf aan te liggen. Je kunt dan gemakkelijk instappen, bijvoorbeeld in punt Q (figuur 18).
- Om de kans op vallen te verkleinen word je verplicht om bij punt P, vlak bij het midden van de schijf, van de steiger op de draaiende schijf te stappen. Arjen en Johan doen een uitspraak over de draaiende schijf.
- 1 Arjen zegt: je moet bij punt P op de schijf stappen omdat daar de snelheid kleiner is dan aan de rand.
- 2 Johan zegt: je moet bij punt P op de schijf stappen omdat daar het toerental kleiner is dan aan de rand.

FIG. 18 Bootjes langs een draaiende schijf.



bovenaanzicht

Welke van deze uitspraken is of zijn juist?

- A geen van beide
B alleen 1
C alleen 2
D zowel 1 als 2
- 5** Aan een kraanwagen wil men een blok beton hangen. De kraanwagen ondervindt zonder het blok een zwaartekracht $F_z = 45 \text{ kN}$ (figuur 19). In de tekening zijn ook enkele afstanden aangegeven. De kraanwagen mag niet kiepen. Verwaarloos de massa van de kabel en de haak.
- Hoe groot mag het gewicht van het blok beton hoogstens zijn?
- 6** Een rok is met een klerhanger in P aan een waslijn opgehangen. Die waslijn is gespannen tussen de punten A en B (figuur 20). De klerhanger en de rok hebben samen een gewicht van 24 N.
- a** Neem de waslijn (nauwkeurig) over en teken F_z in punt P. Neem daarbij voor 10 N een pijl van 1 cm lengte.
- b** Bepaal door constructie de grootte van de krachten in de waslijn links en rechts van het punt P.

FIG. 19 Een kraanwagen.

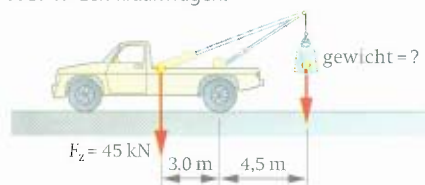


FIG. 20 Een rok aan een waslijn.



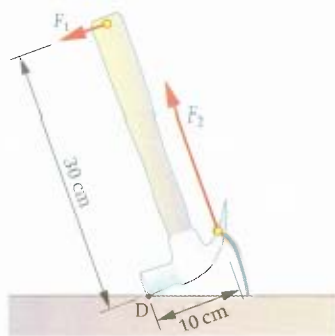


FIG. 21 Een klauwhamer.

- 7 Een spijker wordt met behulp van een klauwhamer uit een plank getrokken (figuur 21). De kracht F_1 , die loodrecht op de steel van de hamer wordt uitgeoefend, bedraagt 40 N. De richting van F_1 is aangegeven, evenals de richting van de kracht F_2 op de spijker. Ook zijn de afstanden van F_1 en F_2 aangegeven tot het draaipunt D, waarom de hamer kantelt. Hoe groot is de kracht F_2 die de hamer op de spijker uitoefent?
- 8 Hilke heeft een massa van 40 kg. Ze kan in 6,0 s op een trap 5,0 m hoger komen.
- Welke energie-omzetting vindt plaats als Hilke omhoog loopt?
 - Bereken het nuttig vermogen dat Hilke hierbij ontwikkelt.

Behandeld in blok 5 deel 2mhv natuurkunde en blok 6 deel 2vm.

Geluid als trilling

Voorbeelden van geluidsbronnen zijn: stembanden, luidspreker, stemvork, muziekinstrument.

Voorbeelden van instrumenten om het geluid waar te nemen zijn: microfoon, oor.

Als een geluidsbron geluid maakt wordt dat door de lucht als een trilling doorgegeven naar een waarnemer (figuur 22).

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 teruggekaatste geluid weer terug is, hoor je hetzelfde geluid opnieuw. 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* voor dieptebepaling op schepen 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 (figuur 23). 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 gehoor grens (ca 20.000 Hz) 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 24). Het beeld op de oscilloscoop herhaalt zich steeds.

Belangrijke grootheden bij geluid zijn:

- de *trillingstijd*: de tijd die nodig is voor één trilling;
- de *frequentie*: het aantal trillingen in één seconde;
- de *amplitude*: de maximale uitwijking.

Hoge tonen hebben een grote frequentie (veel trillingen per seconde; kleine trillingstijd). Het menselijk gehoor is in staat tonen tussen de 20 Hz en de 20 kHz (20 000 Hz) waar te nemen (te horen).

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, zal de geluidssterkte kleiner zijn.

Muziek

Een toepassing van geluid vind je in muziek. Zo wordt bij snaarinstrumenten een snaar aangeslagen of aangestoken. Deze gaat daardoor trillen, zodat 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 dikte van de snaar: hoe dikker de snaar, hoe lager de toon.

Formules

De eerste belangrijke formule voor geluid is:

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

In deze formule geldt:

s is de afstand die het geluid heeft afgelegd in m;

v_{geluid} is de geluidssnelheid in m/s;

t is de benodigde tijd in s.

Om de frequentie van geluid te berekenen kun je de volgende formule gebruiken:

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

In deze formule geldt:

f is de frequentie in hertz (Hz);

T is de trillingstijd in s.

FIG. 24 Geluid kun je zichtbaar maken op een oscilloscoop.

FIG. 23 Een echoscoop.

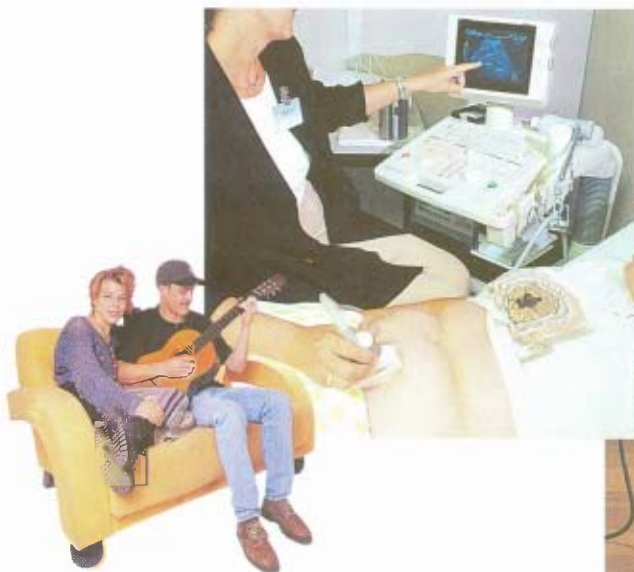
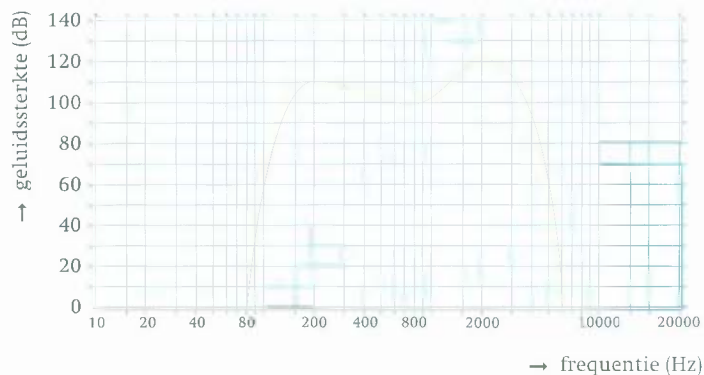


FIG. 22 Geluid plant zich via een medium voort van bron naar waarnemer.



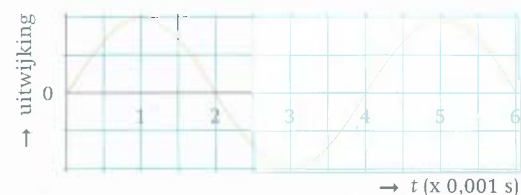
- 1 Iemand roept in een echoput. Na 1,5 s hoort hij de echo.
 - a Bereken hoe diep de put is.
Hij herhaalt de proef met een toon die een grotere amplitude heeft.
 - b Hoe verandert hierdoor de proef?
Tenslotte wordt een toon met een hogere frequentie gebruikt.
 - c Hoe verandert nu de proef?
- 2 In figuur 25 is de frequentiekaracteristiek van een microfoon gegeven.
 - 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?
- 3 Els zit met een elastiekje te spelen. Ze houdt het elastiekje een beetje gespannen en tokkelt er op.
 - a Hoe verandert de toon als ze een korter elastiekje tussen haar vingers houdt (bij dezelfde spanning)?
 - b Hoe kan Els de toon nu lager maken?

FIG. 25 De frequentiekaracteristiek van een microfoon.



- 4 In het diagram van figuur 26 is een geluidstrilling weergegeven.
Hoe groot is de frequentie van deze trilling?
 - A 167 Hz
 - B 250 Hz
 - C 500 Hz
- 5 Een toon wordt lager.
Welke grootte verandert er dan en hoe?
 - A De amplitude wordt kleiner.
 - B De amplitude wordt groter.
 - C De frequentie wordt kleiner.
 - D De frequentie wordt groter.
- 6 Esther staat naar een onweer te kijken. Ze ziet de bliksem inslaan in een kerktoren. Esther telt dat het 15 s duurt voordat ze de donder hoort. Ze weet dat de toren ongeveer 5 km van haar af staat.
Bereken de geluidssnelheid met de gegevens van Esther.

FIG. 26 Een geluidstrilling.



T3 Vaste stoffen, vloeistoffen en gasen

Behandeld in blok 1, 3 en 7 deel 1mhv natuurkunde, blok 1 en 6 deel 1vm, blok 3 deel 2vm-plus en blok 2 deel 4cd natuurkunde.

De fasen van een stof

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

De *dichtheid* is de massa van één cm^3 van de stof. De dichtheid kun je berekenen met de formule:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

In deze formule geldt:

ρ is de dichtheid in gram/cm^3 (of kg/dm^3);

m is de massa in gram (of kg);

V is het volume in cm^3 (of dm^3).

Van vaste stoffen is de dichtheid (meestal) groter dan van vloeistoffen. Ijs is een uitzondering op deze regel! 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.

In welke fase een stof zich bevindt hangt af van de omstandigheden (onder andere de temperatuur). Bij normale druk (100 kPa) heet de temperatuur waarbij de stof overgaat van de vaste in de vloeibare fase: het *smeltpunt*. Bij deze temperatuur zal de stof ook stollen als warmte aan de vloeistof wordt onttrokken. Deze temperatuur wordt daarom ook wel het *stolpunt* genoemd.

In het schema van figuur 27 zijn alle fase-overgangen (met de namen) weergegeven.

Water komt in de natuur in verschillende fasen voor:

- gasvormig in de lucht als waterdamp;
- als vloeistof in de vorm van regen;
- als vaste stof in de vorm van ijs, hagel, sneeuw of rijp.

Het molecuulmodel

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

- 1 Iedere stof is opgebouwd uit moleculen.
- 2 Moleculen hebben massa.
- 3 Moleculen bewegen.
- 4 Door verwarmen gaan de moleculen sneller bewegen.
- 5 Tussen de moleculen zit ruimte.
- 6 Op korte afstand van elkaar trekken de moleculen elkaar aan.

FIG. 27 Het schema van de fase-overgangen.



FIG. 28 Een molecuul is opgebouwd uit atomen.



Moleculen bestaan uit nog kleinere deeltjes: atomen. De combinatie van atomen bepaalt de eigenschappen van de stof (figuur 28).

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

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

Zo plakt water aan glas omdat de adhesie tussen water- en glasmoleculen groter is dan de cohesie tussen de watermoleculen. Kwik plakt *niet* aan glas omdat de cohesie van de kwikmoleculen groter is dan de adhesie tussen de kwik- en glasmoleculen.

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

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 gebruikte dezelfde schaal als Celsius, maar hij nam het absolute nulpunt (-273°C) als nulpunt voor zijn schaal.

De fasen van een stof zijn te begrijpen met het molecuulmodel:

- *Vast*: De moleculen 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 moleculen trillen op hun plaats.
- *Vloeibaar*: Bij stijgende temperatuur gaan de moleculen sneller bewegen en valt het rooster uiteen, maar de moleculen blijven wel dicht bij elkaar. Ze kunnen echter wel langs elkaar bewegen.
- *Gasvormig*: De moleculen hebben nu zo'n grote gemiddelde snelheid dat ze elkaar wegduwen. Er zit veel ruimte tussen de moleculen, waardoor de kracht die ze op elkaar uitoefenen zeer klein is. De moleculen bewegen vrij van elkaar.

Als de temperatuur stijgt gaan de moleculen sneller bewegen. Een gevolg hiervan is: de moleculen gaan verder uit elkaar zitten (de stof zet uit).

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.)

Vloeistofdruk

Hoe dieper je in een vloeistof bent, hoe meer vloeistof er boven je zit. Hoe dieper je komt, hoe groter de druk is.

Op dezelfde diepte in dezelfde vloeistof is de druk overal gelijk.

Als je ergens op de vloeistof drukt, dan wordt deze druk in alle richtingen doorgegeven. Dit is de wet van Pascal.

Twee toepassingen van deze wet:

- Je kunt de druk in een vloeistof zich over grote afstand laten voortplanten. Dit gebeurt in het hydraulisch remsysteem van een auto.
- Je kunt met een kleine kracht een grote kracht uitoefenen. Dit gebeurt in een hydraulische lift of pers (figuur 29).

Volgens de wet van Pascal blijft de druk overal even groot. In formulevorm:

$$P_1 = P_2$$

Deze formule kun je combineren met de volgende:

$$P = \frac{F}{A}$$

Je krijgt dan een 'handiger' formule:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

In deze formule geldt:

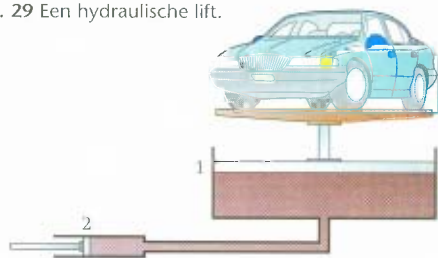
F_1 is de kracht op zuiger 1 in N;

A_1 is de oppervlakte van zuiger 1 (in cm^2);

F_2 is de kracht op zuiger 2 in N;

A_2 is de oppervlakte van zuiger 2 (in cm^2).

FIG. 29 Een hydraulische lift.



Gasdruk

In een gas zijn de moleculen 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 om de druk van de lucht te bepalen (figuur 30).

Druk wordt gemeten in pascal ($= \text{N/m}^2$) 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.

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 *manometer* kun je de druk van een gas bepalen. 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*.

Het verband tussen het volume en de druk van een afgesloten hoeveelheid gas bij constant blijvende temperatuur wordt gegeven door de wet van Boyle:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

FIG. 30 Een barometer meet de luchtdruk.



In deze formule geldt:

p_1 is de druk in de beginsituatie (bijvoorbeeld in Pa);

V_1 is het volume in de beginsituatie (bijvoorbeeld in cm^3);

p_2 is de druk in de eindsituatie (ook in Pa);

V_2 is het volume in de eindsituatie (ook in cm^3).

Als de temperatuur wél verandert, is er een verband tussen de druk p , het volume V en de temperatuur T van een afgesloten hoeveelheid gas. Dit noemen we de algemene gaswet:

$$\frac{p \cdot V_1}{T_1} = \frac{p \cdot V_2}{T_2}$$

In deze formule geldt:

p_1 is de druk in de beginsituatie (bijvoorbeeld in Pa);

V_1 is het volume in de beginsituatie (bijvoorbeeld in cm^3);

T_1 is de temperatuur in de beginsituatie in K;

p_2 is de druk in de eindsituatie (ook in Pa);

V_2 is het volume in de eindsituatie (ook in cm^3);

T_2 is de temperatuur in de eindsituatie in K.

Net als bij de wet van Boyle doet het er niet toe welke eenheden je voor p en V gebruikt, mits je aan beide kanten maar dezelfde eenheden invult. *De temperatuur T mag alleen in K worden ingevuld.* Als je de temperatuur in $^{\circ}\text{C}$ neemt, klopt de wet niet!

1 In supermarkten kan men diepvriesproducten vinden in vrieskasten en vrieskisten. De kasten hebben een (glazen) deur om ze zoveel mogelijk gesloten te houden, terwijl de kisten vaak geen deksel bezitten (figuur 31).

a Leg uit waarom de vrieskist geen deksel hoeft te hebben.

Je opent een vrieskast. Er glijdt koude lucht langs je benen. Als je de kast weer dicht doet 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.

2 a Zoek op in je informatieboekje en noteer de uitzettingscoëfficiënten van chroom en goud. Van deze twee metalen worden twee even lange staafjes gemaakt. We leggen deze staafjes in vloeibare stikstof, zodat de staafjes flink in temperatuur dalen.

b Welk staafje is na afkoeling het kortst?

Ans zegt dat het kortste staafje nu de helft van de lengte heeft van het langste staafje.

c Leg uit of Ans wel of niet gelijk heeft.

3 a Verklaar met behulp van het molecuulmodel dat een gas in alle richtingen druk uitoefent.

b Leg het verdampen van een vloeistof uit met het molecuulmodel.

c Op welke manieren kun je het verdampen versnellen?

d Waarom droogt de was sneller als de wind er doorheen kan waaien?

FIG. 31 Een vrieskist en een vrieskast.



FIG. 32 Een voorwerp aan een krachtmeter.
krachtmeter



- 4 Edwin heeft een voorwerp aan een krachtmeter gehangen. De krachtmeter wijst 0,62 N aan. Edwin laat het voorwerp in een maatcilinder onder water zakken. Het waterniveau stijgt dan van 20 cm^3 tot 31 cm^3 (figuur 32).

Hoe groot is de dichtheid van het voorwerp?

- A $1,6 \text{ g/cm}^3$
- B $2,0 \text{ g/cm}^3$
- C $3,1 \text{ g/cm}^3$
- D $5,6 \text{ g/cm}^3$
- E $6,9 \text{ g/cm}^3$
- F 11 g/cm^3

FIG. 33 Een snelkookpan.

- 5 In een snelkookpan kookt water onder verhoogde druk. Als de druk te hoog wordt, wordt de veiligheidsklep opgetild (figuur 33). 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 omhoog te gaan. De klep sluit een opening af met een doorsnede van $0,8 \text{ cm}^2$.

a Hoeveel N/cm^2 is de druk van de waterdamp in de pan?

b Hoeveel Pa is dat?

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.

- 6 Duikers die een tijdje onder water willen blijven, moeten een gasfles gebruiken. In een volle fles zit 10 liter samengeperste lucht met een druk van 200 bar.
Met hoeveel liter met een buitenluchtdruk van 1 bar en van dezelfde temperatuur komt dit overeen?
- 7 Voor het samenpersen van schroot gebruikt men een hydraulische pers (figuur 34).
Wanneer de kleine zuiger 30 cm naar rechts wordt verplaatst, gaat de grote zuiger 2 cm naar rechts. De kracht F_1 op de kleine zuiger is 600 N. Verwaarloos de wrijving in de pers.
Hoe groot is de kracht F_2 waarmee het schroot door de grote zuiger wordt samengeperst?

FIG. 34 Een hydraulische pers.



Behandeld in blok 8 deel 1m hv natuurkunde, blok 7 deel 2m hv natuurkunde, blok 7 deel 1vm, blok 8 deel 2vm en blok 7 deel 4cd natuurkunde.

Energie-omzettingen

Als iets energie bezit kan er arbeid worden verricht. Energie kan omgezet worden in (een) andere soort(en) energie.

Je moet de volgende energiesoorten kennen: chemische energie, kernenergie, stralingsenergie, warmte, bewegingsenergie, zwaarte-energie en elektrische energie.

Verder moet je weten dat wij onze energie voornamelijk putten uit fossiele energiebronnen. Deze energiebronnen dreigen uitgeput te raken of veroorzaken problemen voor het milieu. Daarom is het heel belangrijk dat wij op zoek gaan naar alternatieve (duurzame) energiebronnen.

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. 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 inging. Dit is *de wet van behoud van energie*.

Meestal kun je echter een deel van de energie die er uitkomt niet nuttig gebruiken. Zo is de warmte die een lamp geeft 'verlies'; een lamp is gemaakt om licht te geven.

Het *rendement* geeft aan hoeveel procent van de energie die je in een apparaat stopt er weer als nuttige energie uitkomt.

Het rendement bereken je met:

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

De toe te voeren 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.

De *verbrandingswarmte* van een stof is de hoeveelheid energie die vrijkomt als 1 kg vaste brandstof (of 1 m³ vloeibare of gasvormige brandstof) wordt verbrand.

FIG. 35 Een temperatuur-tijddiagram.

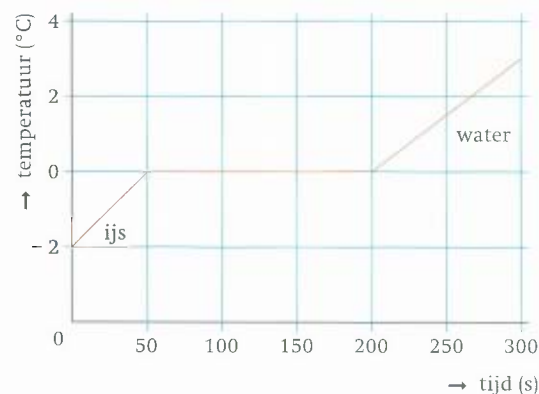
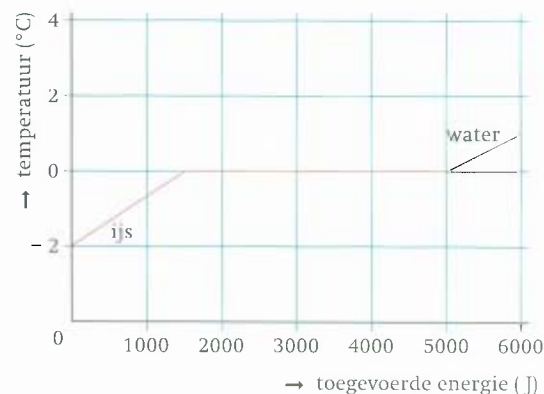


FIG. 36 Een temperatuur-energiediagram.



Transport van warmte

Warmte zal uit zichzelf van een plaats met hoge temperatuur naar een plaats met lage temperatuur gaan. Dit kan op drie manieren:

- 1 Door *geleiding*: Een metalen lepel wordt ook bij het handvat warm als hij een tijdje in de hete soep staat. De moleculen geven de bewegingsenergie aan elkaar door, maar blijven op hun plaats trillen. De mate van geleiding hangt onder meer af van de soort stof: langzaam in een *isolator* (kunststof, glas, hout) en snel in een *geleider* (metalen).
- 2 Door *stroming*: Warme lucht boven een radiator stijgt op. Stroming vindt plaats in vloeistoffen en gasen. De stof wordt op een bepaalde plaats verwarmd, waardoor deze uitzet. Hierdoor wordt de dichtheid kleiner, waardoor de stof opstijgt.
- 3 Door *straling*: De warmte van de zon komt via straling (licht) naar de aarde. Bij warmtetransport door straling is geen tussenstof nodig. Een voorwerp absorbeert de straling goed als het oppervlak dof en zwart is; het reflecteert de straling als het een glad en glimmend (wit) oppervlak heeft.

Het verwarmen van een stof

Als je energie aan een (zuivere) stof toevoert, dan zal:

- de temperatuur van die stof stijgen, of
- er vindt een fase-overgang plaats.

Dit kun je zien in twee soorten diagrammen: het temperatuur-tijddiagram (figuur 35) en in het temperatuur-(warmte)energiediagram (figuur 36). In het temperatuur-energiediagram 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 het 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 (die hoeveelheid stof). Rekenen met warmtecapaciteit gaat met de formule:

$$Q = C \Delta T$$

In deze formule geldt:

Q is de benodigde warmte in joule (J);

C is de warmtecapaciteit in joule/kelvin (J/K);

ΔT is de temperatuurstijging in kelvin (K).

Is het voorwerp van één soort stof, dan kun je de soortelijke warmte van die stof bepalen. De *soortelijke warmte* is de energie (in J) die nodig is om 1 kg van die stof 1 °C (of 1 K) in temperatuur te doen stijgen.

Rekenen met soortelijke warmte gaat met de formule:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

In deze formule geldt:

Q is de benodigde warmte in joule (J);

c is de soortelijke warmte in joule/kilogram-kelvin (J/kg·K);

m is de massa in kilogram (kg);

ΔT is de temperatuurstijging in kelvin (K).

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.

In het temperatuur-energiediagram (figuur 36) 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 en smeltpunt = stolpunt.

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.

Zo kost het ook energie om een vloeistof te verdampen. Deze energie krijg je weer terug als de vloeistof condenseert.

- 1 In een folder over een magnetron-oven staat het volgende: aansluitwaarde 1200 W; nuttig vermogen 650 W.
 - a Bereken het rendement van de magnetron-oven. In een kom zit 200 g soep. Deze kom moet verwarmd worden van 20 °C tot 80 °C. De soortelijke warmte van de soep is 4,0 kJ/kg·K.
 - b Hoeveel warmte is nodig om deze soep op te warmen?
 - c Hoe lang duurt het opwarmen in de magnetron-oven?
- 2 In je informatieboekje kun je de verbrandingswarmte van hout vinden.
 - a Hoe groot is die?
 - b Wat wordt verstaan onder de verbrandingswarmte van hout?
 - A De verbrandingswarmte is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg hout 1 graad in temperatuur te laten stijgen.
 - B De verbrandingswarmte is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg hout te verbranden.
 - C De verbrandingswarmte is de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij het verbranden van 1 kg hout.
- 3 Een gloeilamp heeft een rendement van 5%. Wat betekent dat?
 - A 5% van de toegevoerde energie komt vrij in de vorm van licht.
 - B 5% van de toegevoerde energie komt vrij in de vorm van warmte.
 - C 5% van de toegevoerde energie wordt bespaard.
- 4 De bodem van een pan die je op een elektrische kookplaat gebruikt, moet overal goed contact maken met die kookplaat. De pan neemt dan de warmte goed op.

Om welke manier van warmtetransport gaat het hier vooral?

- A geleiding
- B stroming
- C straling

- 5 Om een fles wijn aan tafel een tijd koel te houden, is een dubbelwandige plastic flessenhouder in de handel (figuur 37). De flessenhouder is aan de bovenkant open.

Leg uit dat het niet nodig is de flessenhouder van een deksel te voorzien.

- 6 De koperen stift van een soldeerbout heeft een massa van 30 gram. De soortelijke warmte van koper is $0,387 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. De stift wordt verwarmd met een verwarmingsspiraal met een vermogen van 15 W.

Bereken de temperatuurstijging van de stift per minuut als je aanneemt dat alle ontwikkelde warmte aan de stift ten goede komt.

- 7 De soortelijke warmte van water is $4,2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

a Hoeveel warmte is nodig om 40 kg water van 15°C tot 45°C te verwarmen?

Dit water wordt verwarmd door een elektrische boiler. De boiler heeft een rendement van 80%.

b Leg uit wat het betekent dat het rendement van de boiler 80% is.

FIG. 37 Een plastic flessenhouder.



BLOK 9 EXAMENSTOF

T5 Optica

Behandeld in blok 2 deel 1mhv natuurkunde, blok 3 deel 2mhv natuurkunde, blok 2 deel 1vm, blok 2 deel 2vm en blok 4 deel 4cd natuurkunde.

Belangrijke begrippen

De volgende begrippen spelen een belangrijke rol binnen de optica:

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

Rechtlijnige 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 lichtbundel, die bestaat uit diverse lichtstralen, kan drie verschillende vormen bezitten (figuur 38):

- een *divergerende lichtbundel*: de lichtstralen lopen uiteen;
- een *evenwijdige lichtbundel*: de lichtstralen lopen onderling evenwijdig;
- een *convergerende lichtbundel*: de lichtstralen lopen naar elkaar toe.

FIG. 38 Drie soorten lichtbundels.



FIG. 39 Spiegelende terugkaatsing.
normaal

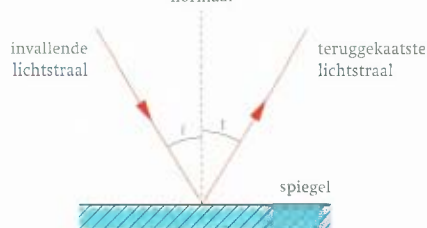


FIG. 40 Diffuse terugkaatsing.

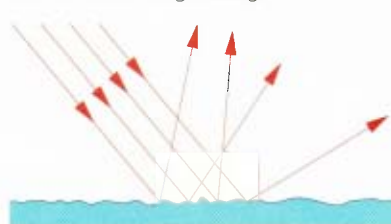


FIG. 41 Een lichtstraal wordt gebroken bij de overgang van lucht naar perspex.

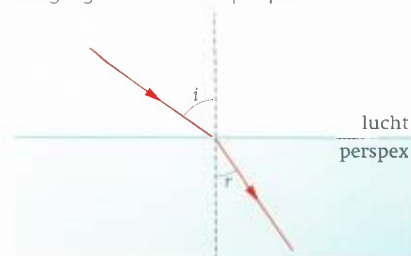
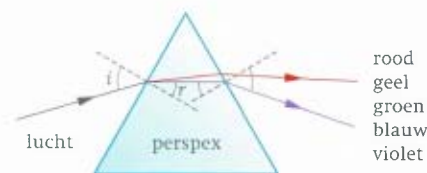


FIG. 42 Een prisma scheidt wit licht in de kleuren van de regenboog.



Je kunt een lichtstraal van zijn rechte baan afbuigen door in de lichtstraal een voorwerp te plaatsen. Als dit een spiegel is, wordt de lichtstraal teruggekaatsd; bij een vlakke plaat glas of bij een prisma wordt de lichtstraal gebroken.

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

- Het licht wordt vrijwel volledig *geabsorbeerd*. De stralingsenergie wordt dan omgezet in warmte.
- Het licht wordt *spiegelend weerkaatst*: elke lichtstraal blijft vóór de spiegel en wordt in één bepaalde richting teruggekaatst (figuur 39). Bij spiegelende terugkaatsing geldt de *terugkaatsingswet*: $\angle i = \angle r$.
- Het licht wordt *diffuus weerkaatst*: de stralen van een evenwijdige lichtbundel worden in allerlei richtingen teruggekaatst (figuur 40).
- Het licht wordt *gebroken* wanneer het (niet loodrecht) op een doorzichtige stof valt. Voorbeelden van doorzichtige stoffen zijn glas, water en perspex.

Voor lichtbreking gelden de volgende drie regels:

- 1 Bij de overgang van een optisch ijle stof naar een optisch dichtere stof is er breking *naar de normaal toe*. Anders gezegd: $\angle r$ is *kleiner* dan $\angle i$. Deze overgang zie je bijvoorbeeld als licht van lucht naar perspex gaat (figuur 41).
- 2 Bij de overgang van een optisch dichte stof naar een optisch ijlere stof is er breking *van de normaal af*. Anders gezegd: $\angle r$ is *groter* dan $\angle i$. Deze overgang zie je bijvoorbeeld als licht van perspex naar lucht gaat.
- 3 Bij loodrechte overgang is er *nooit* breking. Anders gezegd: $\angle i = 0^\circ = \angle r$. De stoffen doen er hier niet toe: er is nooit breking.

Bij een *prisma* treedt twee keer breking op (figuur 42). Valt er wit licht op het prisma, dan wordt dit licht gesplitst in de kleuren van de regenboog.

Beelden bij spiegels en lenzen

Bij een spiegel zie je het beeld achter de spiegel (figuur 43). 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. Kun je het wel 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 44).

Lenzen

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

Bij een lens maakt men op een bijzondere manier gebruik van breking (figuur 45).

FIG. 43 Een spiegel geeft een virtueel beeld van een voorwerp.

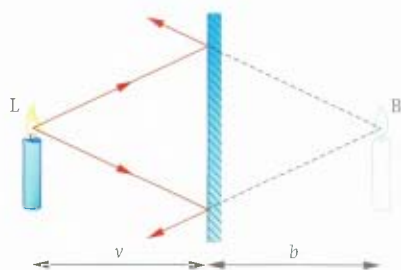
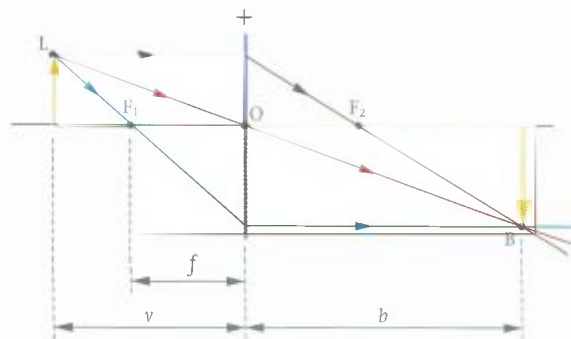


FIG. 44 De vorming van een reëel beeld door een positieve lens.



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

Van een voorwerp voor een bolle lens kun je met behulp van de *drie constructiestralen* het beeld construeren (figuur 46). Je moet dan v en f weten.

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

Lichtstraal 2 door het optisch middelpunt gaat ongebroken door.

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

FIG. 45 Breking van licht door een positieve lens.

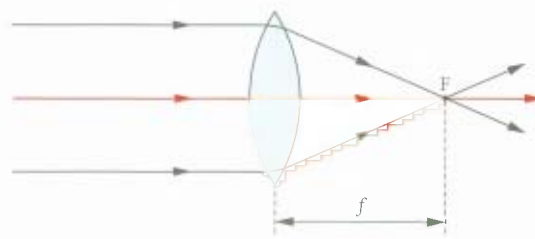
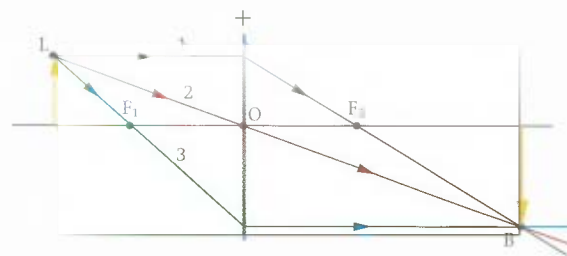


FIG. 46 De drie constructiestralen bij een positieve lens.



Met de *lenzenformule* kun je deze plaats ook bepalen door de beeldafstand b uit te rekenen:

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

In deze formule is:

v de voorwerpsafstand (in cm);

b de beeldafstand (in cm);

f de brandpuntsafstand (in cm).

Voorwerp en beeld zijn (in tegenstelling tot bij de spiegel) meestal niet even groot. Je kunt dus over een vergroting spreken. De vergroting N van het beeld kun je berekenen met twee formules:

$$N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte voorwerp}}$$

of:

$$N = \frac{b}{v}$$

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 zit ook een bolle lens (figuur 47). Als je naar een voorwerp in de verte kijkt, 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*, zodat er toch een scherp beeld op het netvlies komt.

FIG. 47 Een schematische voorstelling van het oog.

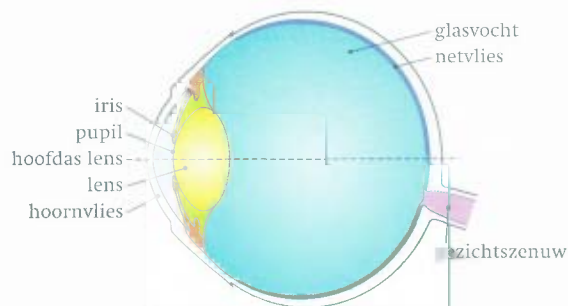


FIG. 48 Het bovenaanzicht van een supermarkt.



- 1 Een bewaker overziet vanuit zijn kantoor een deel van de supermarkt. Een ander deel kan hij zien via een vlakke spiegel. In de supermarkt bevinden zich hoge rekken. In figuur 48 zie je een bovenaanzicht van de supermarkt.

a Neem de figuur (nauwkeurig) over en geef door arceren aan welk deel van de supermarkt de bewaker via de spiegel kan zien.

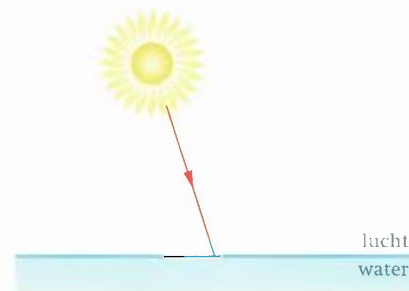
b Geef met stipfels aan welk deel de bewaker vanuit zijn plaats niet kan zien.

- 2 Op een wateroppervlak valt een lichtstraal (figuur 49). Behalve spiegeling is er ook sprake van breking.

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. 49 De zon schijnt op het water.



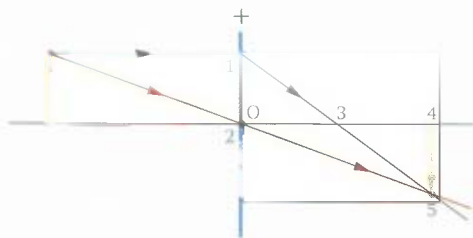
- 3 Een tekenlerares maakt met een kleinbeeldcamera een dia van een schilderij van 20 bij 40 cm. Zij wil het schilderij in z'n geheel en zo groot mogelijk scherp op de dia krijgen. Het beeld van het schilderij vult niet de gehele dia. De afmeting van de dia is 2,4 bij 3,6 cm.

Hoe groot is de vergroting?

- A 0,06
B 0,09
C 0,12
D 0,18
E 8,33
F 11,11
- 4 In figuur 50 zie je een beeldconstructie bij een positieve lens. Enkele punten in de tekening zijn genummerd. Welk nummer stelt het brandpunt voor?
- A 1
B 2
C 3
D 4
E 5

- 5 Waardoor wordt licht in spectraalkleuren gesplitst?
- A door absorptie
B door breking
C door terugkaatsing

FIG. 50 Beeldconstructie bij een positieve lens.

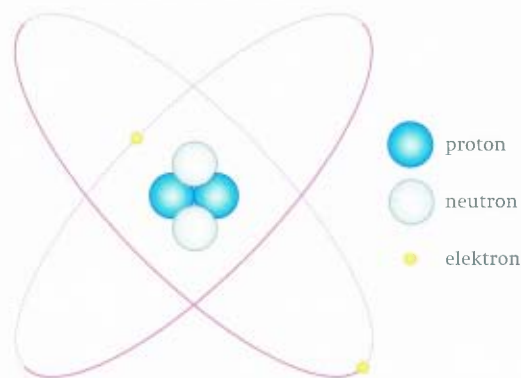


BLOK 9 EXAMENSTOF

T6 Atoombouw, elektriciteit en magnetisme

Behandeld in blok 5 deel 1mhv natuurkunde, blok 1, 2 en 4 deel 2mhv natuurkunde, blok 4 deel 1vm, blok 3 deel 2vm, blok 1 en 4 deel 2vm-plus en blok 1 en 3 deel 4cd natuurkunde.

FIG. 51 Het model van een atoom.



Atomen

Bij het molecuulmodel heb je gezien dat een stof is opgebouwd uit moleculen. Een molecuul blijkt te bestaan uit nog kleinere deeltjes: atomen. Een atoom blijkt weer te bestaan uit een kern (met protonen en neutronen) en een elektronenmantel (figuur 51).

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.

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 atomen met te veel elektronen.

FIG. 52 Soorten straling en dracht

soort straling	α -straling	β -straling	γ -straling
dracht	in lucht enkele cm; wordt door vel papier tegengehouden	in lucht enkele m; in metalen enkele mm	in lucht honderden m; in lood vele cm

Een *positief* geladen voorwerp heeft *te weinig* elektronen en bevat dus 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.

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

Isotopen van één element hebben *hetzelfde* aantal protonen en elektronen, maar een *verschillend* aantal neutronen.

We kunnen de verschillende isotopen van één element van elkaar onderscheiden door bij de naam van het element *het aantal deeltjes in de kern te vermelden*, bijvoorbeeld uranium-235 en uranium-238.

In je informatieboekje vind je in tabel 6 een lijst van enkele isotopen.

Als een isotoop te veel of te weinig neutronen in de kern heeft, dan is de kern niet stabiel. Na verloop van tijd zal er dan een verandering optreden, waarbij de kern straling uitzendt. In de tabel van figuur 52 is een overzicht gegeven van de soorten straling die daarbij kunnen optreden en de bijbehorende *dracht*. Dit is de afstand die een stralingsdeeltje aflegt in een stof. Straling kan dus geabsorbeerd worden. Het absorptievermogen is afhankelijk van de soort stof en de dikte van de laag. Een kernreactor heeft dikke betonwanden 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 voor medische doeleinden), moet zich daartegen beschermen (bijvoorbeeld door met lood gevoerde schorten).

Radioactief materiaal bestaat voor een deel uit niet-stabiele kernen. Deze kernen vervallen onder uitzending van straling.

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 noemt men de *halveringstijd*. De halveringstijd kan variëren van een fractie van een seconde tot miljarden jaren.

Elektriciteit

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

Spanning ontstaat door het verschil in ladingsverdeling tussen twee plaatsen.

Spanning is de oorzaak van het optreden van een elektrische stroom. Een *spanningsbron* zorgt voor een constant verschil in ladingsverdeling (figuur 53).

Een batterij heeft aan de pluspool te weinig negatieve lading en aan de minpool te veel negatieve lading. Andere voorbeelden van spanningsbronnen zijn: accu, batterij, thermo-element, zonnecel en dynamo. Met een *spanningsmeter* (voltmeter) meet je de spanning tussen twee punten.

Onder de *stroomsterkte* verstaan we: de hoeveelheid lading die in één seconde langs een punt stroomt. Met een *stroommeter* (ampèremeter) meet je de stroomsterkte in een punt.

Je hebt stoffen waar de elektrische stroom niet tot zeer slecht doorheen kan: *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 elektronen worden door de spanningsbron aan de minpool dicht op elkaar gestuwd. Hierdoor gaan de elektronen, als er een verbinding met de pluspool is, naar de pluspool bewegen.

We zeggen echter – bij afspraak – dat de elektrische stroom in een stroomkring gaat van de pluspool naar de minpool.

De *effecten* van elektrische stroom zijn:

- het ontstaan van licht en warmte (bijvoorbeeld in een gloeilamp);
- de chemische werking (bijvoorbeeld het laden van een accu;
- de magnetische werking (bijvoorbeeld bij een elektromagneet).

FIG. 53 Een batterij is een spanningsbron.



Weerstand

Niet elk apparaat laat de stroom even makkelijk door. Een apparaat met een grote weerstand laat de stroom moeilijk door. Laat een apparaat de stroom makkelijk door, dan is de weerstand klein.

Hoe groot de weerstand van een apparaat is, kun je uitrekenen met de wet van Ohm:

$$R = \frac{U}{I}$$

In deze formule geldt:

R is de waarde van de weerstand in Ω ;

U is de spanning over de weerstand in V;

I is de stroomsterkte door de weerstand in A.

De weerstand R van een apparaat bepaal je met behulp van een spanningsmeter (spanning U) en een stroommeter (stroom I). Hiervoor gebruik je een van de schakelingen van figuur 54.

Verander je de spanning over een apparaat (bijvoorbeeld een lamp of een andere weerstand) dan verandert ook de stroomsterkte door dat apparaat. In een (I,U) -diagram kun je zien welk verband er bestaat tussen de spanning U over het apparaat en de stroomsterkte I door het apparaat (figuur 55). Uit het (I,U) -diagram kun je de weerstand van een apparaat bij bepaalde waarden van U en I bepalen.

FIG. 54 Schakelingen om de weerstand van een apparaat bepalen.

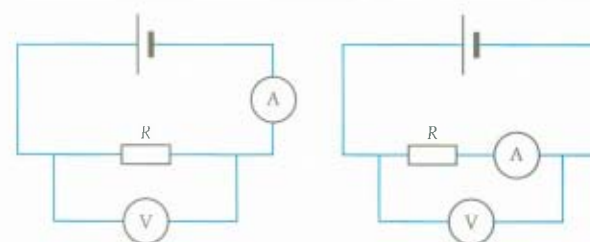
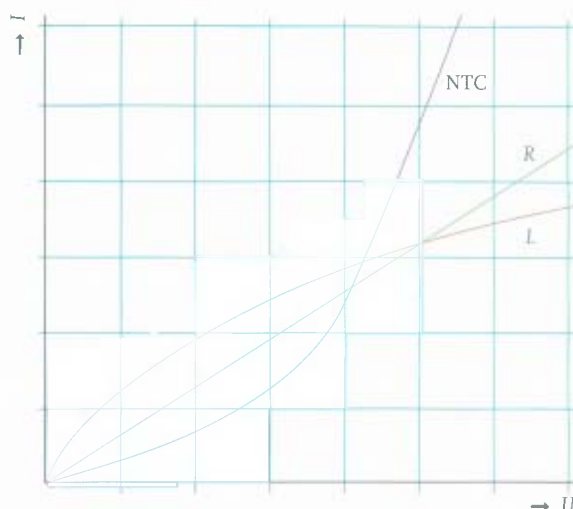


FIG. 55 Het (I, U) -diagram van een gloeilamp (L), een ohmse weerstand (R) en een NTC-weerstand.



- Lamp L: Hoe groter I , hoe hoger de temperatuur van de gloeidraad, des te groter de weerstand van de lamp.
 - Ohmse weerstand R: De weerstand is constant (onafhankelijk van I).
 - NTC: Hoe groter I , hoe hoger de temperatuur, hoe kleiner de weerstand.
- Behalve de NTC zijn er nog twee bijzondere weerstanden: de LDR en de schuifweerstand.
- LDR (Light Dependent Resistance): de weerstand wordt kleiner als er meer licht op de LDR valt.
 - Schuifweerstand (figuur 56): een weerstand waarvan je de waarde kunt instellen.

De weerstand van een draad hangt af van:

- 1 de lengte l van de draad: hoe langer de draad, hoe groter de weerstand;
- 2 de doorsnede A van de draad: hoe groter de doorsnede, hoe kleiner de weerstand;
- 3 het soort materiaal: elk materiaal heeft zijn eigen soortelijke weerstand ρ .
- 4 de temperatuur T van de draad: bij de meeste stoffen wordt de weerstand groter als de temperatuur stijgt.

FIG. 56 Een schuifweerstand.



We kunnen deze vier punten in één formule samenvatten:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Let op de eenheden in deze formule:

R is de weerstand van de draad in Ω ;

ρ is de soortelijke weerstand (afhankelijk van de soort stof en de temperatuur van de draad) in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;

l is de lengte van de draad in m;

A is de doorsnede van de draad in mm^2 .

Schakelingen

Schakelingen teken je met symbolen. In je informatieboekje staan in schema 7 de symbolen die je kunt gebruiken.

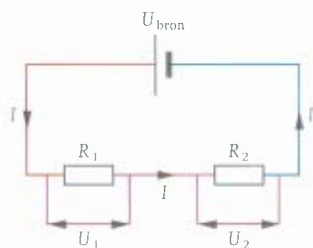
Serieschakeling: De bronspanning verdeelt zich over alle in serie geschakelde weerstanden. De stroomsterkte is door elke weerstand even groot (figuur 57). Voor een serieschakeling van R_1 en R_2 geldt:

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

$$I_{\text{bron}} = I_1 = I_2 \text{ (} I \text{ is overal hetzelfde)}$$

$$R_v = R_1 + R_2$$

FIG. 57 Een serieschakeling.



Voorbeelden van serieschakelingen zijn:

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

Parallelschakeling: De elektrische stroom splitst zich over de verschillende takken (figuur 58). 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 kleinst.

Voor een parallelschakeling van R_1 en R_2 geldt:

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

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

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

Voorbeelden van parallelschakeling zijn:

- de lichtpunten en stopcontacten in huis;
- de schakeling in een auto;
- de schakeling van je fietsverlichting.

Een speciale schakeling is de *spanningsdeler*. Als je een spanningsbron van 12 V hebt en je wilt een lampje van 3 V laten branden, dan kun je met de schakeling van figuur 59 een deel van de spanning van 12 V gebruiken.

FIG. 58 Een parallelschakeling.

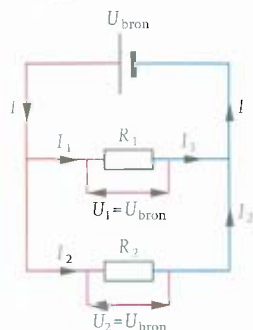
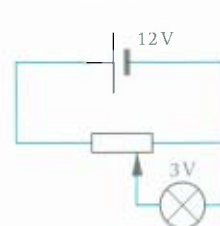


FIG. 59 Een spanningsdeler.



Elektrische energie

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* dat de bron levert, kun je berekenen met de formule:

$$P = U \cdot I$$

In deze formule geldt:

P is het vermogen in watt (W);

U is de spanning in volt (V);

I is de stroomsterkte in ampère (A).

Vervolgens kun je de energie die de bron levert, berekenen met de formule:

$$E = P \cdot t$$

In deze formule geldt:

E is de energie in joule of in kWh;

P is het vermogen in watt of in kW;

t is de tijd in seconde of in uur.

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. Verder geldt: 1 kWh = 3 600 000 J.

Magnetisme

Een magneet kan voorwerpen van ijzer, nikkel, staal of kobalt 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 60 is het magnetisch veld van een *staafmagneet* getekend.

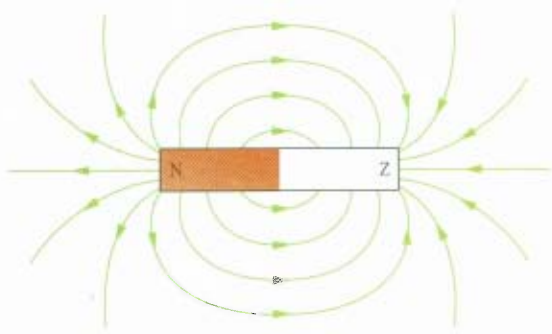
Het magnetisch veld van een magneet wordt gekarakteriseerd door *veldlijnen*. Deze lopen van de N-pool naar de Z-pool. Hoe meer veldlijnen per cm^2 , des te sterker is daar het magnetisch veld.

Als je een stuk ijzer of nikkel enige tijd in een magnetisch veld houdt, worden deze voorwerpen door *influentie* zelf magneten.

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 noordpool van de kompasnaald genoemd.

FIG. 60 Het veld van een staafmagneet.



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 heel snel zijn magnetische eigenschappen.

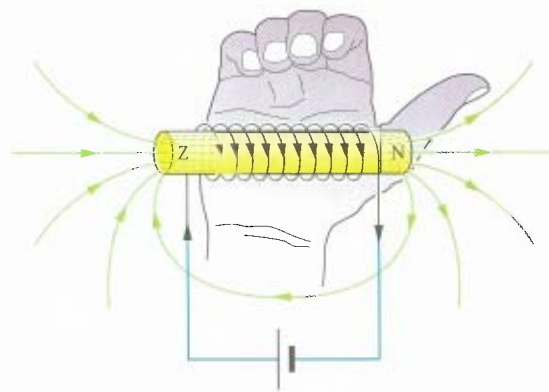
Je kunt ook een magnetisch veld maken door een elektrische stroom door een spoel te sturen. De plaats van N- en Z-pool hangt af van de richting waarin de elektrische stroom door de spoel rondloopt. We vinden dit verband met de *rechterhandregel*: Buig de vingers van je rechterhand zó over de spoel, dat je vingers in de richting van de stroom wijzen. Je gestrekte duim wijst dan de kant van de noordpool aan (figuur 61).

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.

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

FIG. 61 De rechterhandregel voor een spoel.



Inductie

Als een magneet beweegt in of bij een spoel, ontstaat er een spanning over de uiteinden van de spoel. Dit is de *inductiespanning*.

De inductiespanning hangt af van:

- de snelheid van de bewegende magneet;
- het aantal windingen van de spoel;
- de sterkte van de magneet;
- of er wel of geen kern in de spoel zit.

Twee toepassingen van het opwekken van inductiespanning vind je in een dynamo en een generator. Een belangrijk apparaat dat óók gebruik maakt van inductie ten gevolge van de periodieke verandering van een magnetisch veld, is de *transformator*. Een transformator bestaat uit twee spoelen en een gesloten weekijzeren kern. In de primaire spoel - aangesloten op een wisselspanningsbron - wordt door een veranderende elektrische stroom een wisselend magnetisch veld opgewekt. Dit veld wordt door de weekijzeren kern doorgegeven naar de secundaire spoel. Door dit veranderende veld ontstaat over de secundaire spoel een inductiespanning. De stroomsterkte dóór en de spanning óver de secundaire spoel hangen onder andere af van de verhouding van het aantal windingen van de primaire en de secundaire spoel.

Voor een ideale transformator (zonder verliezen) geldt:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{U_p}{U_s}$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s \quad (\text{kortter: } P_p = P_s)$$

Toepassingen van transformatoren:

- transport van elektriciteit;
- veiligheidstoepassingen (bijvoorbeeld in een speelgoedtrein).

- 1 Een lithiatoom bestaat uit 3 protonen, 4 neutronen en een aantal elektronen.
 - a Teken dit neutrale lithiatoom. Gebruik daarbij de symbolen uit figuur 62.
 - b Teken een isotoop van dit lithiatoom.

FIG. 62 De symbolen voor een proton, neutron en elektron.



- 2 Een partij voedsel is besmet met radioactief jood. Het voedsel heeft daardoor een activiteit gekregen van 1000 Bq per kg. De norm is 250 Bq per kg. Het jood heeft een halveringstijd van 8 dagen. Na hoeveel dagen voldoet het voedsel voor het eerst aan de norm?
- 3 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? (De weerstand verandert niet).
- 4 In figuur 63 is een staafmagneet getekend.
 - a Op welke plaats blijft een ijzeren spijkertje niet aan de magneet hangen?

FIG. 63 Een staafmagneet.



FIG. 64 Twee spijkers aan de N-pool van een staafmagneet.



Twee spijkers hangen naast elkaar aan de noord-pool van een magneet (figuur 64).

b Welke polen zijn bij P en Q ontstaan en hoe blijkt dat uit de figuur?

- 5** 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. Dit lampje heeft dan een weerstand van 30Ω .

a Bereken de stroomsterkte die de stroommeter aangeeft (figuur 65).

De secundaire spoel heeft 400 windingen.

b Bereken het aantal windingen van de primaire spoel.

- 6** In bijna elk huis is in de meterkast een aardlekschakelaar aangebracht. Deze aardlekschakelaar vergelijkt de stromen in de aanvoerdraad A en de afvoerdraad B. Die stromen behoren even groot te zijn. Als er een verschil tussen die stromen ontstaat, lekt er kennelijk stroom weg: de zogenoemde lekstroom. Als deze lekstroom groter is dan 0,03 A wordt de stroomtoevoer door de aardlekschakelaar uitgeschakeld.

Karel raakt een broodrooster aan waarvan de buitenkant door een defect onder een spanning van 230 V staat. Daardoor gaat er een lekstroom door Karel naar de aarde (figuur 66).

De weerstand van Karel tussen het broodrooster en de aarde is $1 \text{ k}\Omega$.

Laat door een berekening zien of de aardlekschakelaar de stroom uitschakelt.



FIG. 65 Een lampje is aangesloten op een transformator.

- 7** Een koffiezetapparaat heeft een elektrisch verwarmingsplaatje om de koffie warm te houden. Het verwarmingsplaatje heeft twee standen. Een lage stand om een normale hoeveelheid koffie en een hoge stand om een grote hoeveelheid koffie warm te houden. Arno ziet op het type-plaatje dat het vermogen in de lage stand 48 W is en in de hoge stand 65 W. Beide bij een spanning van 230 V.

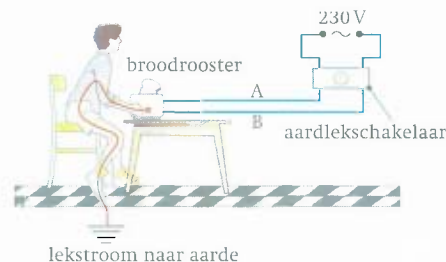
a Leg uit in welke stand de weerstand van het verwarmingsplaatje het grootst is.

In het verwarmingsplaatje zitten twee verwarmingsspiralen. De ene spiraal heeft een weerstand R_1 , de andere een weerstand R_2 . In de lage stand is er één weerstand in gebruik. In de hoge stand wordt ook de tweede weerstand ingeschakeld als je de schakelaar S sluit. Er zijn vier mogelijke schakelingen getekend (figuur 67).

b In welke schakeling wordt door het sluiten van schakelaar S ook de tweede weerstand ingeschakeld?

- A in schakeling A
B in schakeling B
C in schakeling C
D in schakeling D

FIG. 66 Een defect broodrooster.



- 8 In de schakeling van figuur 68 zijn een LDR, een relais en een signaallampje opgenomen.
Leg stap voor stap uit door welke verandering bij de LDR het signaallampje gaat branden.

FIG. 67 Vier schakelingen.

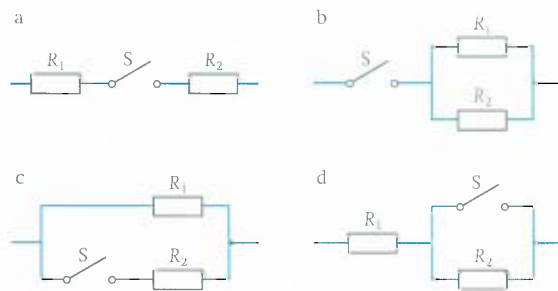


FIG. 68 Een schakeling met een LDR.

