

EXAMEN DOEN

voor de 4e klas mavo





EXAMEN DOEN

experimentele uitgave voor de 4e klas mavo

PROJECT LEERPAKKETONTWIKKELING NATUURKUNDE

- * Het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde (PLON) is in 1972 begonnen onder auspiciën van de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN). De opdracht was: het ontwikkelen en door middel van onderzoek evalueren van leerpakketten voor natuurkundeonderwijs op mavo, havo en vwo, en het ontwerpen van een plan voor goede begeleide introductie daarvan in de scholen.
- * Het PLON werkt onder toezicht van een stuurgroep waarin vertegenwoordigers uit het onderwijs, de vervolgopleiding, didactische instellingen, onderwijsondersteuningsinstituten, lerarenopleidingen en het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen vertegenwoordigd zijn.
- * Het PLON is ondergebracht bij de Vakgroep Natuurkunde Didaktiek van de Rijksuniversiteit Utrecht. Deze vakgroep participeert tevens in de activiteiten ten behoeve van havo-bovenbouw. Ten behoeve van vwo-bovenbouw bestaat een samenwerkingsverband met de universiteiten van Amsterdam (GU) en Groningen, en groepen leraren die werken aan de ontwikkeling van lesmateriaal.
- * Het adres van het PLON is:
PLON, lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA, de Uithof, Utrecht
Tel. 030-532717

Dit instructieboek 'Examen Doen' voor de 4e klas mavo bestaat uit een selectie van activiteiten en theorie-teksten uit het boek 'Natuurkunde met leerlingen 3', geschreven door de Vakbegeleidingsgroep Natuurkunde van het MAVO-Project en uitgegeven door BV Uitgeverij NIB te Zeist.

Voor de verkregen toestemming tot overname zijn wij zowel de schrijvers als de uitgeverij zeer erkentelijk

Werken met PLON-materiaal in de 2e, 3e en 4e klas mavo betekent: voor een deel andere natuurkunde leren dan in het afsluitend landelijk eindexamen voor de mavo gevraagd wordt. Op een aantal scholen, waar bij het vak natuurkunde alleen maar met PLON-materiaal gewerkt wordt, kunnen de leerlingen meedoen aan het 'PLON-examen'. Dat 'PLON-examen' gaat ook over de natuurkunde die jullie op school hebben overgeslagen. Van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen mogen echter maar een beperkt aantal scholen meedoen aan dit 'PLON-examen'. Jouw school hoort daar niet bij.

Dat betekent dat je over enige tijd voor de opgave staat om mee te doen aan het landelijk eindexamen mavo. Dit instructieboek 'Examen Doen' is bedoeld om je bij je voorbereiding op dat examen te helpen. Via een aantal proeven, opdrachten en theorie-teksten besteed je bij het werken met dit boek aandacht aan die stukken natuurkunde die je wel voor je examen nodig hebt, maar die niet of onvoldoende voorkomen in de PLON-thema's.

Het karakter van dit boek is dan ook duidelijk anders dan je tot nu toe gewend bent. Het is geen thema waarin verbanden gelegd worden tussen natuurkunde, techniek en je omgeving (de samenleving). Het is wel veel meer rechttoe-rechtaan 'natuurkunde'. En daarmee hopen we je een goede voorbereiding op het landelijk eindexamen te geven.

Succes ermee.

het PLON-team
oktober 1983

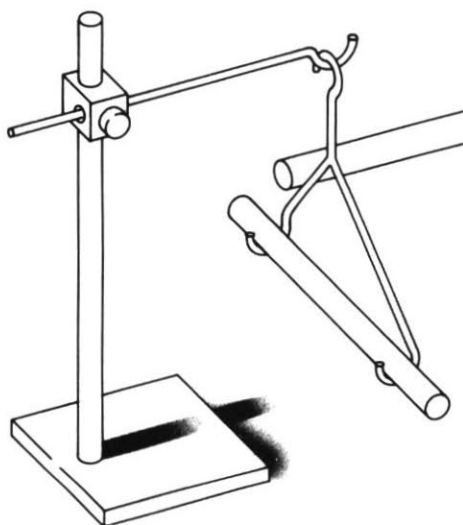
1. ELEKTRA	6
statische elektriciteit	7
stroomkring	11
elektro-magnetisme	14
elektrische cellen	20
2. MECHANICA	21
bewegingswet	22
kracht-weg-arbeid-energie	24
3. WARMTE	28
fase-overgangen	29
overzicht	32
4. OPTICA	35
spiegels en terugkaatsing	36
breking	40
lenzen	42
5. VASTE STOFFEN, VLOEISTOFFEN EN GASSEN	45
dichtheid	46
wet van Archimedes	49
gaswetten	55
kleine deeltjes	60
kracht en druk	63

statische elektriciteit		7
activiteit 1		7
theorie	elektrische lading	7
activiteit 2	elektroscoop	8
theorie	positief en negatief	8
opdrachten		9
stroomkring		11
theorie	soortelijke weerstand	11
opdrachten		11
activiteit 3	serieschakeling	12
activiteit 4	parallelschakeling	12
theorie	vervangingsweerstand	12
opdrachten		13
elektro-magnetisme		14
theorie	gewone magneet	14
theorie	magnetisme en elektriciteit	14
activiteit 5	inductie	15
theorie	inductiespanning en inductiestroom	15
activiteit 6	de spanning gaat omhoog of omlaag	16
theorie	transformator	16
activiteit 7	transformator en vermogen	17
theorie	energieverliezen bij transformatoren	17
opdrachten		18
elektrische cellen		20
activiteit 8	een batterij	20
theorie	stroom in een vloeistof	20

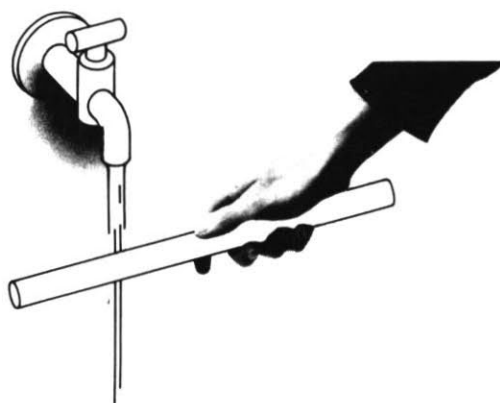
activiteit 1

Wat je nodig hebt

- + 2 stukken elektriciteitspijp
- + stukje voeringzijde
- + papiersnippers
- + stromend water
- + statiefmateriaal
- + ophangbeugels voor de staven

Opstelling**Uitvoering**

- 1 Wrijf met het doekje een van de uiteinden van de buis op.
- Houd dit uiteinde nu bij enkele papiersnippers.
- 2 Wrijf de buis opnieuw en houd deze in de buurt van een 'dun' waterstraaltje.
- 3 Hang één buis in de ophangbeugels. Wrijf de andere buis op en houd deze nu in de buurt van de eerste buis.
- 4 Wrijf daarna een van de uiteinden van de buis weer op, hang deze buis in de klembeugels. Wrijf nu van de andere buis ook een uiteinde op. Breng beide gewreven uiteinden bij elkaar in de buurt.
- 5 Beschrijf wat je zag gebeuren.

**Elektrische lading theorie**

In de proeven uit activiteit 1 heb je gezien dat de gewreven plastic buis de papiersnippers aantrekt en dat de twee gewreven plastic buizen elkaar afstoten.

Dit komt doordat er elektrische lading op de plastic buis komt als je er met een doek overheen wrijft. Nu hebben alle 'ongeladen' voorwerpen even veel van twee soorten elektrische ladingen, namelijk:

- negatieve elektrische lading (–)
- positieve elektrische lading (+)

Uit de derde klas weet je waarschijnlijk nog wel dat elektrische stroom veroorzaakt wordt door stromende elektronen en dat deze elektronen een negatieve lading hebben. In sommige stoffen bewegen de elektronen erg gemakkelijk.

Deze stoffen noemen we daarom geleiders, bijvoorbeeld alle metalen zijn geleiders. Stoffen waarin elektronen niet of nauwelijks van plaats veranderen noemen we isolatoren, bijvoorbeeld hout, glas, plastic, enz.

Een voorwerp is negatief geladen als er te veel elektronen op zitten en een voorwerp is positief geladen als er te weinig elektronen op zitten. Sommige stoffen krijgen een negatieve lading als je er overheen wrijft, bijvoorbeeld plastic, andere stoffen krijgen een positieve lading als je er overheen wrijft, bijvoorbeeld glas.

Als je met zo'n geladen voorwerp geen andere voorwerpen aanraakt, zal de lading er ook op blijven. Daarom noemen we dit 'statische elektriciteit'.

Met behulp van een eenvoudig instrumentje is deze vorm van elektriciteit (de aanwezigheid van elektrische lading) zichtbaar te maken. Dit instrumentje noemen we een elektro-scoop.

De werking ervan berust op het verschijnsel dat twee dezelfde soorten lading elkaar afstoten (bijvoorbeeld twee gewreven plastic buizen) en dat ongelijksoortige ladingen elkaar aantrekken.

Statische elektriciteit ken je ook al uit het dagelijks leven, denk maar eens aan de stofjes die op een grammofoonplaat blijven kleven, aan de vonkjes bij het uittrekken van een trui die gemaakt is van nylon of dralon en het rechtop gaan staan van droge haren bij het kammen.

Bliksem is trouwens ook een gevolg van een statische elektriciteit.

Elektroscoop activiteit 2

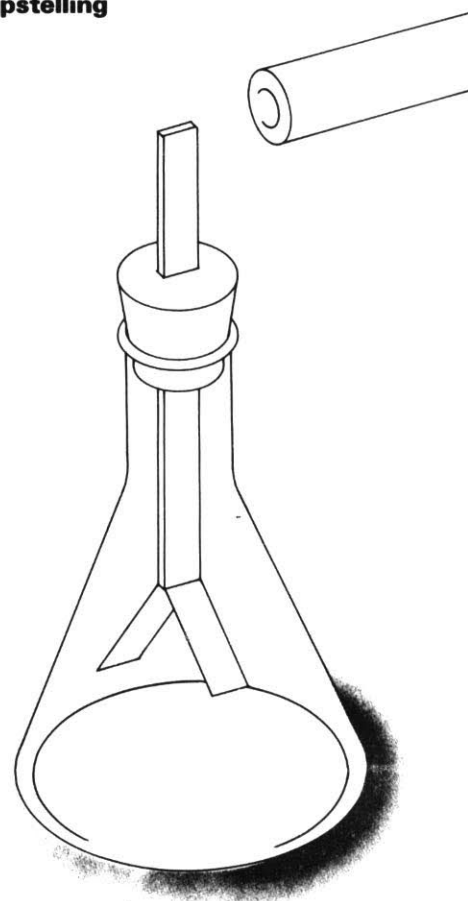
Wat je nodig hebt

- + plastic buis en doek
- + elektroscoop

Uitvoering

- 1 Nader met de gewreven plastic buis de elektroscoop. (Met de buis de elektroscoop nog niet aanraken.)
Wat zie je gebeuren?
- 2 Wat zie je gebeuren als je de plastic buis weghaalt van de elektroscoop?
- 3 Raak nu met de weer opgeladen plastic buis de elektroscoop aan.
Wat zie je?
- 4 Wat gebeurt er als je de plastic buis weghaalt?

Opstelling



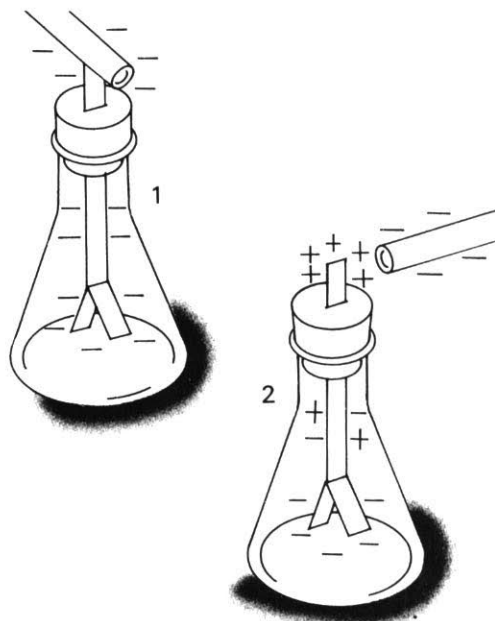
Positief en negatief theorie

Je hebt gezien dat de twee beweegbare stukjes metaal binnenin de elektroscoop uit elkaar gaan als je de gewreven plastic buis op de metalen bovenkant van de elektroscoop houdt.

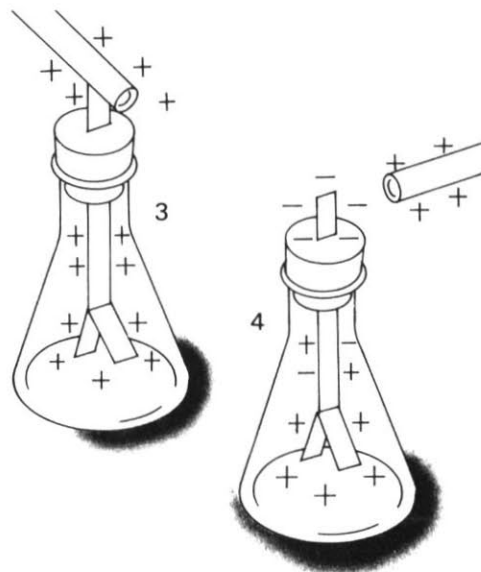
Door het wrijven is er een beetje negatieve lading op de buis gekomen. Als je de buis tegen de elektroscoop houdt, komt er wat negatieve lading van de buis op de elektroscoop. Deze lading verspreidt zich over het geleidende staafje van de elektroscoop en komt ook bij de twee beweegbare stukjes metaal. Die hebben dan dezelfde lading en stoten elkaar af (afbeelding 1).

Als je de geladen plastic buis niet tegen maar vlakbij de elektroscoop houdt, zie je de elektroscoop ook 'uitslaan': de negatieve deeltjes (elektronen) in de elektroscoop worden afgestoten door de negatieve buis en komen onderin te zitten. Bovenin komt een tekort aan negatieve lading: de bovenkant wordt positief (afbeelding 2).

Dit verschijnsel, namelijk het verplaatsen van lading op afstand, noemen we influentie.

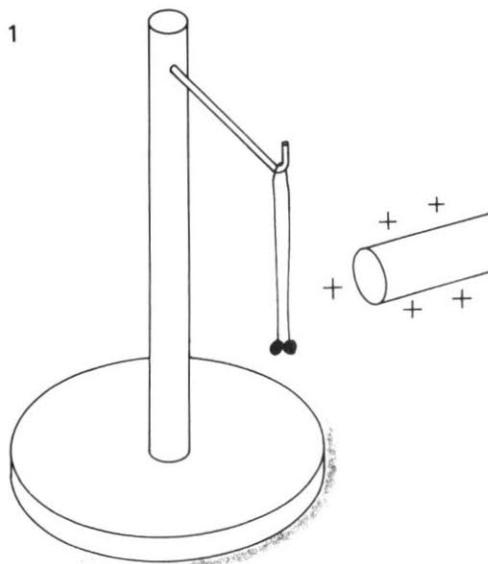


Als je nu de bovenkant van een ongeladen elektroscoop aanraakt met een positief geladen (glas)staaf zullen de elektronen in de elektroscoop aangetrokken worden door de positieve staaf waardoor de elektroscoop een tekort aan elektronen krijgt en dus positief geladen zal worden (afbeelding 3). Houd je de positief geladen staaf vlakbij de bovenkant van de elektroscoop dan zullen de (negatieve) elektronen ook door de positieve staaf worden aangetrokken maar niet verder kunnen komen dan de bovenkant van de elektroscoop, waardoor de bovenkant negatief geladen wordt en de onderkant een positieve lading krijgt (afbeelding 4). Dit is dan ook influentie.

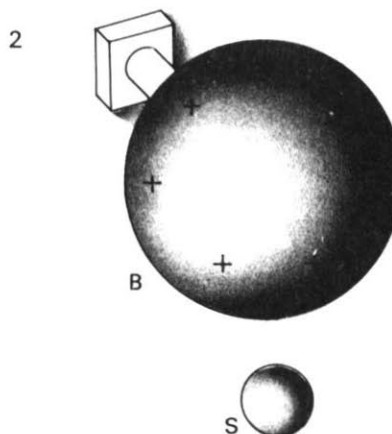


opdrachten

- 1 Leg uit waardoor een waterstraaltje afbuigt als je er een geladen plastic buis bij houdt. Geef in een tekening aan hoe de lading op een bepaald ogenblik in dat waterstraaltje is verdeeld.
- 2 Verklaar hoe het komt dat een geladen plastic buis papiersnippers aantrekt.
- 3 Twee vlierpitbolletjes zijn met twee draadjes opgehangen aan hetzelfde statief (zie afbeelding 1). De bolletjes hangen eerst tegen elkaar.
Voorspel wat er gebeurt als:
 - a men een geladen staaf in de buurt van de bolletjes houdt
 - b men met een geladen staaf beide bolletjes tegelijk aanraakt.
 Misschien kun je deze proeven uitvoeren en je waarnemingen verklaren.



- 4 (Examen mavo-D, 1980)
In afbeelding 2 is een metalen bol B en een licht voorwerp S afgebeeld. De metalen bol is positief geladen en is door middel van een isolerende staaf aan de muur bevestigd.
 - a Leg met behulp van elektronen uit, wat een positief geladen voorwerp is.
 - b Het voorwerp S is neutraal. Dit voorwerp S bevindt zich in de buurt van de metalen bol B.
 - Neem afbeelding 2 over en teken de ladingsverdeling op het voorwerp S.
 - Hoe heet dit verschijnsel?
 - c Het voorwerp S heeft een massa van 0,2 gram. Als men het voorwerp S 10 cm onder bol B loslaat, blijft het zweven. Bereken de grootte van de elektrische kracht, die B op S uitoefent.



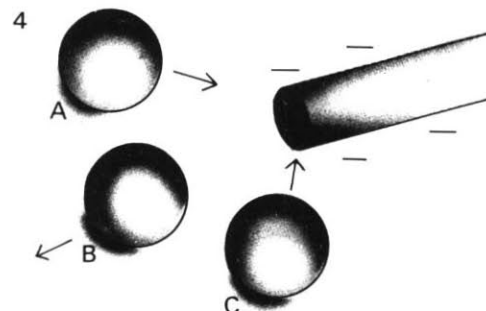
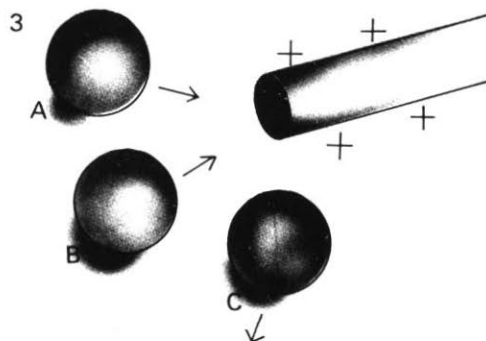
5 (Examen mavo-D, 1981)

We gaan de ladingstoestand bepalen van de drie bolletjes A, B en C. We naderen de bolletjes met een positief geladen staaf. De bolletjes A en B worden aangetrokken, het bolletje C rolt weg (zie afbeelding 3). Hierbij veranderen de ladingstoestanden van de bolletjes niet.

De bolletjes worden in de oorspronkelijke positie teruggelegd. Men nadert ze nu met een negatief geladen staaf. De bolletjes A en C worden aangetrokken, bolletje B rolt weg (zie afbeelding 4).

Wat is de ladingstoestand van:

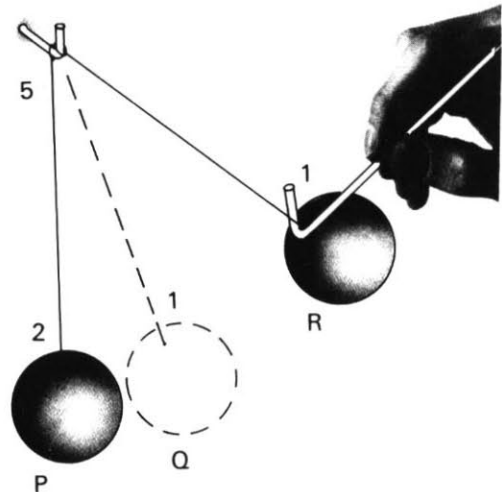
- a bolletje A?
- b bolletje B?
- c bolletje C?



- b We laten bol 1 los. De twee bollen botsen tegen elkaar.

De bollen hebben dezelfde massa.

Teken de stand van bol 1 en 2 nadat ze gebotst hebben en tot rust gekomen zijn en geef van elk der bollen de ladingstoestand aan.



6 (Examen mavo-D, 1982)

Twee zeer lichte bollen, 1 en 2, hangen aan dunne koordjes. Bol 2 is ongeladen (neutraal) en hangt loodrecht naar beneden (stand P). Bol 1 is negatief geladen en wordt in stand R gehouden.

We brengen nu bol 1 in de buurt van bol 2 in de stand Q (zie afbeelding 5).

Er verplaatst zich geen lading van bol 1 naar bol 2 of omgekeerd.

- a In deze situatie geldt dat bol 2:
 - aangetrokken wordt door bol 1 en zich naar rechts verplaatst.
 - afgestoten wordt door bol 1 en zich naar links verplaatst.
 - niet aangetrokken of afgestoten wordt en op zijn plaats blijft.

Kies het juiste antwoord en licht de keuze toe.

Soortelijke weerstand theorie

Uit proeven bleek dat de weerstand van een draad afhankelijk is van:

- de lengte van de draad
- de doorsnede van de draad
- het materiaal waarvan draad is gemaakt
- de temperatuur

Bij verdere experimenten bleek dat de weerstand van een draad:

- recht evenredig is met de lengte van de draad
- omgekeerd evenredig is met de doorsnede van de draad
- sterk afhankelijk is van het materiaal waarvan de draad gemaakt is

Daarom is het begrip soortelijke weerstand ingevoerd.

De soortelijke weerstand van een stof is de weerstand (in ohm) van een draad van die stof van 1 meter lengte en een doorsnede van 1 mm².

Soortelijke weerstand wordt aangegeven met de Griekse letter rho: ρ .

Elk materiaal heeft zijn eigen soortelijke weerstand.

Hieronder een tabel met enkele soortelijke weerstanden van materialen bij 15 graden Celsius:

materiaal	in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
aluminium	0,03
constantaan	0,45
koolstof	60
koper	0,017
kwik	0,96
nikkel	0,07
wolfraam	0,05
ijzer	0,12
zilver	0,016
gedestilleerd water	10^{10}

Weerstand van een draad in formule,

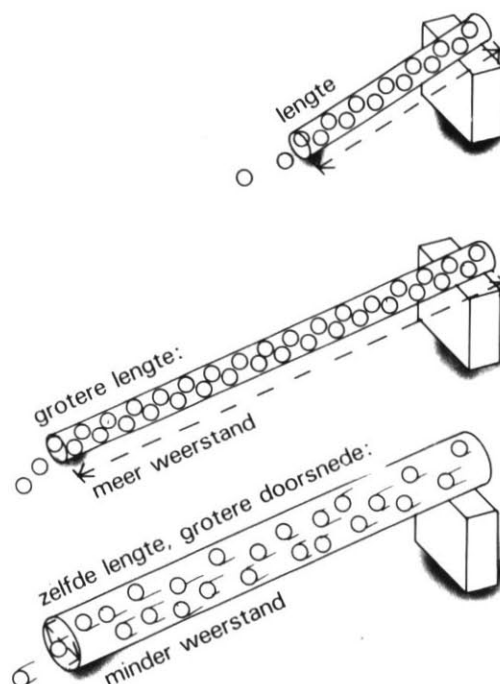
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

R is de weerstand van de draad in Ω

l is de lengte van de draad in m

A is de draaddoorsnede in mm²

ρ is de soortelijke weerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$



opdrachten

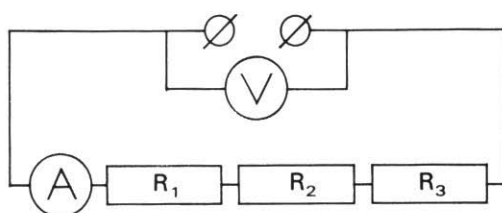
- 1 Wat is de weerstand (bij 15°C) van:
 - a 2 m koperdraad van 0,2 mm² doorsnede?
 - b 10 m constantaandraad van 2 mm² doorsnede?
 - c 10 m constantaandraad van 0,5 mm² doorsnede?

Serieschakeling activiteit 3

Wat je nodig hebt

- + spanningsbron
- + drie weerstanden met bekende waarden
- + ampèremeter
- + voltmeter
- + snoeren

Opstelling



Uitvoering

- 1 Maak de getekende schakeling.
- 2 Meet de stroomsterkte op verschillende plaatsen in de stroomkring.
- 3 Meet de spanning over de afzonderlijke weerstanden.
- 4 Meet de spanning over alle weerstanden samen.
- 5 Bepaal (reken uit) de totale weerstand van de stroomkring.
- 6 Wat is je conclusie?

Opmerking

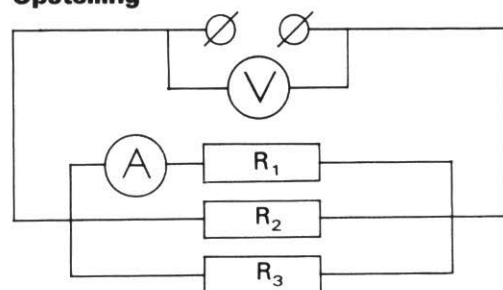
Als je in een schakeling een combinatie van weerstanden hebt, is het altijd mogelijk deze combinatie te vervangen door één weerstand die dezelfde waarde heeft als de combinatie van weerstanden. Deze weerstand krijgt het symbool R_v en de naam vervangingsweerstand.

Parallelschakeling activiteit 4

Wat je nodig hebt

- + spanningsbron
- + drie verschillende weerstanden
- + ampèremeter
- + snoeren
- + schakelaar
- + voltmeter

Opstelling



WAT JE WETEN MOET

De waarden van de drie weerstanden moeten bekend zijn. Zijn ze niet bekend, dan moet je voor je aan de opdrachten begint, deze waarden bepalen met behulp van een voltmeter en een ampèremeter.

Uitvoering

- 1 Maak de getekende schakeling en meet de stroom door R_1 . (Noem deze stroom I_1)
- 2 Herhaal deze metingen voor R_2 en R_3 . (Noem deze stromen I_2 en I_3 .)
- 3 Hoeveel stroom loopt door de drie weerstanden samen?
- 4 Meet de stroomsterkte in de aanvoer- of afvoerdraad.
- 5 Wat is je conclusie?

Vervangingsweerstand theorie

Voor een serieschakeling gelden de volgende eigenschappen:

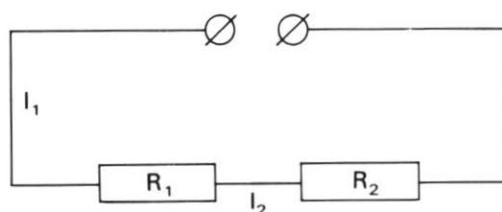
- de stroomsterkte in de stroomkring is overal even groot ($I_1 = I_2 = \dots$)
- de vervangingsweerstand R_v krijg je door alle weerstanden bij elkaar op te tellen. In formule: $R_v = R_1 + R_2 + \dots$
- de totale spanning is gelijk aan de som van de spanningen over alle onderdelen afzonderlijk. In formule: $U_t = U_1 + U_2 + \dots$

Voor een parallelschakeling gelden de volgende eigenschappen:

- de stroomsterkte in de 'onvertakte' stroomkring verdeelt zich, als de stroomkring zich vertakt op de volgende manier: $I = I_1 + I_2 + \dots$
- de spanning over alle afzonderlijke parallel geschakelde onderdelen is even groot
- de vervangingsweerstand bereken je op de volgende manier:

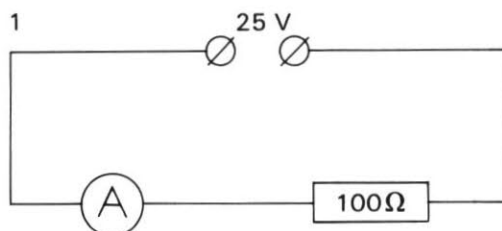
$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Voorbeeld
 $R_1 = 10 \Omega$
 $R_2 = 20 \Omega$
 $U = 3 \text{ V}$
 $R_v = R_1 + R_2 = 10 + 20 = 30 \Omega$
 $I = \frac{U}{R_v} = \frac{3}{30} = 0,1 \text{ A}$
 $U_1 = I \times R_1 = 0,1 \times 10 = 1 \text{ V}$
 $U_2 = I \times R_2 = 0,1 \times 20 = 2 \text{ V}$
 $U_t = U_1 + U_2 = 1 + 2 = 3 \text{ V}$

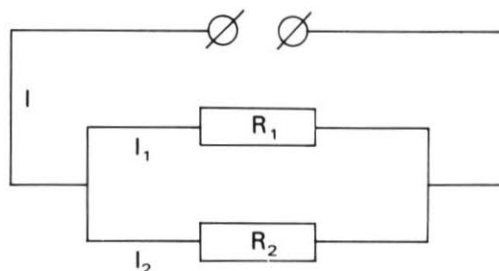


opdrachten

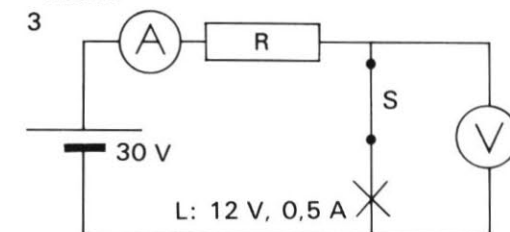
- 1 Je hebt 2 lampjes, een batterij, snoeren, een ampèremeter en een voltmeter.
 - a Teken een schema waarin de lampjes in serie zijn geschakeld, de ampèremeter de stroom door de stroomkring meet en de voltmeter de spanning over beide lampjes samen meet.
 - b Teken een schema waarin de lampjes parallel zijn geschakeld, de ampèremeter de stroomsterkte in de onvertakte stroomkring meet en de voltmeter de spanning over de beide lampjes samen meet.
 - c In welke opstelling heeft de ampèremeter de grootste uitslag?
Leg uit waarom.
 - d In welke opstelling gaat de batterij het langst mee?
Leg uit waarom.
- 2 Deze vragen gaan over de schakeling van afbeelding 1.
 - a Hoeveel ampère wijst de ampèremeter aan in deze schakeling?
 - b Als er nog zo'n weerstand van 100Ω in serie wordt geschakeld met de eerste weerstand, wat wijst de ampèremeter dan aan?
 - c Als de tweede weerstand uit vraag b niet in serie, maar parallel wordt geschakeld, wat wijst de ampèremeter dan aan?



Voorbeeld
 $R_1 = 20 \Omega$
 $R_2 = 30 \Omega$
 $U = 6 \text{ V}$
 $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$
 $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{12}$ ofwel $R_v = 12 \Omega$
 $I = \frac{U}{R_v} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ A}$
 $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{6}{20} = 0,3 \text{ A}$
 $I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{6}{30} = 0,2 \text{ A}$



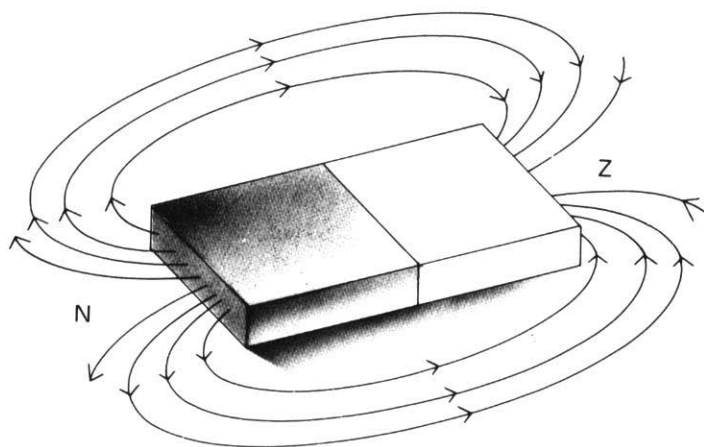
- 3 Bereken bij de schakelingen van afbeelding 2 steeds R_v tussen P en Q, als:
 $R_1 = 80 \Omega$
 $R_2 = 40 \Omega$
 $R_3 = 10 \Omega$
 - 2
- 4 (Eindexamen mavo-D, 1982)
 We hebben de volgende schakeling gemaakt:
 - 3



- a Bereken de grootte van R als de lamp op de juiste spanning brandt.
- b We openen schakelaar S.
Beredeneer welke waarde de voltmeter nu aangeeft.
- c Beredeneer welke waarde de ampèremeter nu aangeeft.

Gewone magneet theorie

In de tweede klas heb je gezien dat een magneet verschillende soorten metalen zoals ijzer, kobalt en nikkel kan aantrekken, maar



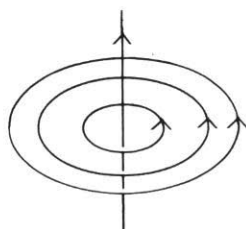
geen metalen zoals koper, aluminium en zilver. Verder heb je gezien dat gelijke kanten (of dezelfde polen) van een magneet elkaar afstoten en dat ongelijke polen elkaar aantrekken. Misschien weet je ook nog dat de magnetische pool, die – als de magneet vrij kan draaien – naar het noorden wijst de noordpool genoemd wordt en de andere pool de zuidpool.

Je hebt ook gezien dat de magnetische kracht of de sterkte van het magneetveld aan het uiteinde van de polen het grootst, en in het midden van de magneet erg klein is.

De vorm van het magneetveld van een staafmagneet heb je bepaald met behulp van kompasnaaldjes. Voor de volledigheid is het getekend. De pijltjes geven de richting van het magneetveld aan. De richting van het magneetveld is altijd van noord naar zuid, buiten de magneet.

Magnetisme en elektriciteit theorie

Een spoel waar stroom doorheen gaat, heeft een magnetisch veld. Het magnetische veld van een spoel geeft hetzelfde veldlijnenpatroon te zien als de staafmagneet.

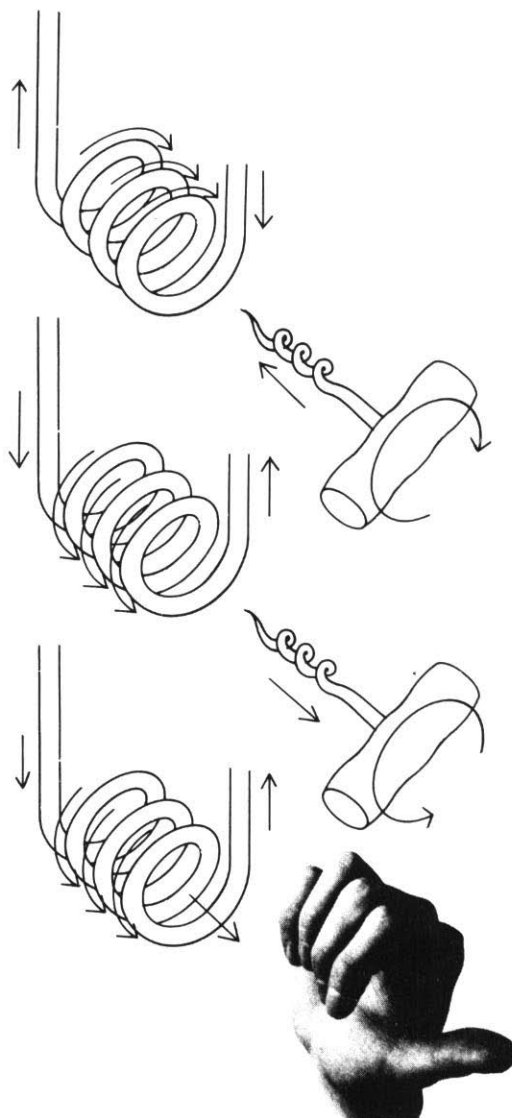
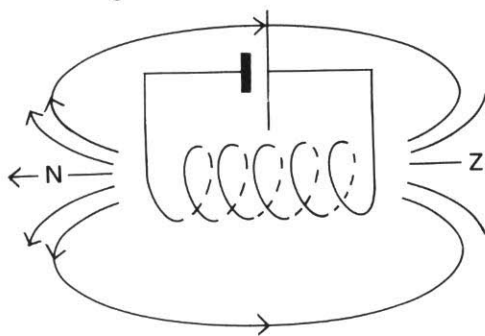


Ook om een rechte draad waar stroom doorheen gaat, bleek een magnetisch veld te zijn. De veldlijnen zijn hier cirkels in een vlak loodrecht op de draad. De draad zelf is het middelpunt van deze cirkels.

In het algemeen is het zo dat een elektrische stroom in een geleider een magnetisch veld veroorzaakt. Het verband tussen de richting van de stroom en de magnetische veldlijnen kun je bepalen met de kurketrekkerregel. Deze luidt als volgt:

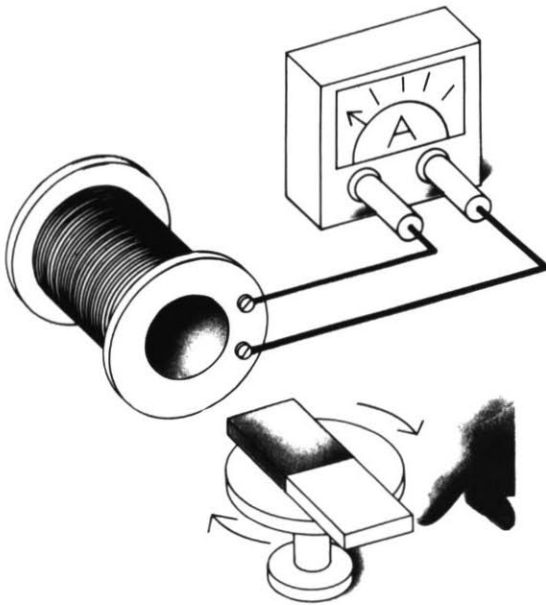
Als we in een spoel een kurketrekker draaien in de richting van de stroom, dan geeft de voortgaande beweging van de kurketrekker de richting van het magnetisch veld aan.

Een andere manier om de richting van het magneetveld te weten te komen is de rechterhandregel. Je maakt met je rechter hand een vuist en zorgt dat je duim naar voren steekt. De stand van je vingers geven nu de stroomrichting en je duim de richting van het bijbehorende magneetveld.



Inductie activiteit 5

Opstelling



Wat je nodig hebt

- + spoelen
- + draaibaar opgestelde of opgehangen magneten
- + snoeren
- + ampèremeter of gevoelige voltmeter

Uitvoering

- 1 Maak onderstaande opstelling.
- 2 Zoek uit op welke manieren je de magneet moet bewegen om stroom of spanning te meten.
- 3 Zoek uit of de snelheid van bewegen invloed heeft op de grootte van de stroomsterkte of spanning.
- 4 Zoek uit welke invloed verschillende soorten magneetjes en spoeltjes hebben.
- 5 Wat is je conclusie?

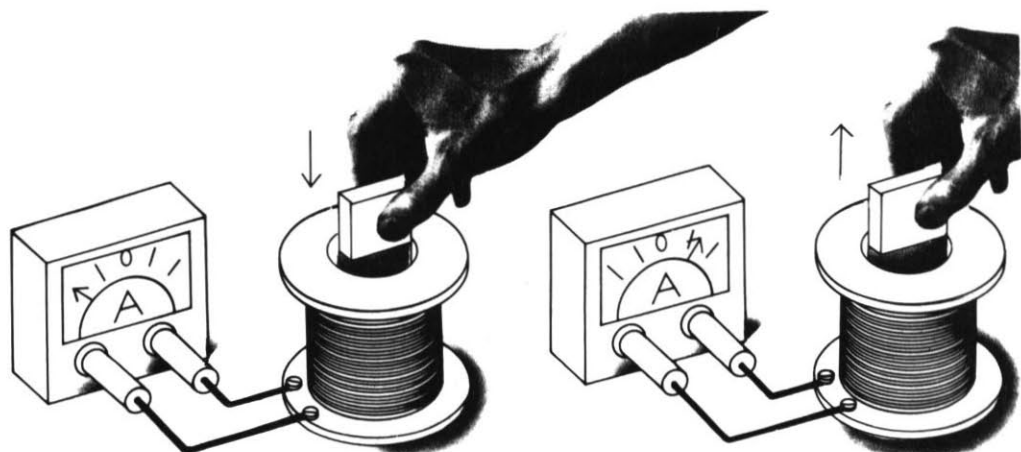
Inductiespanning en inductiestroom theorie

Op blz. 14 heb je gezien dat je met behulp van een spoel, waar stroom door loopt, een magneetveld krijgt. In activiteit 5 gebeurt het omgekeerde. Hier krijg je met behulp van een bewegende magneet in of bij een spoel juist stroom of spanning. Belangrijk is dat de magneet beweegt: hierdoor verandert in de buurt van de spoel of in de spoel steeds de magnetische veldsterkte. Zo'n veranderend magnetisch veld noemen we ook wel een wisselend magnetisch veld. Dus: een wisselend magnetisch veld zorgt

ervoor dat er over de spoel een spanning ontstaat en dat, als de stroomkring gesloten is, er stroom gaat lopen.

De ontstane spanning noemen we inductiespanning, de ontstane stroom inductiestroom (induceren betekent opwekken).

Als je goed gekeken hebt, heb je gezien dat de stroom of spanning steeds van richting verandert als de bewegingsrichting van de magneet verandert. De geïnduceerde stroom en spanning noemen we daarom wel wisselstroom en wisselspanning (zie de afbeelding).



De spanning gaat omhoog of omlaag activiteit 6

Wat je nodig hebt

- + wisselspanningsbron
- + 2 spoelen, waarvan de een tweemaal zoveel wikkelingen heeft als de ander
- + U-kern met sluitstuk
- + 2 voltmeters

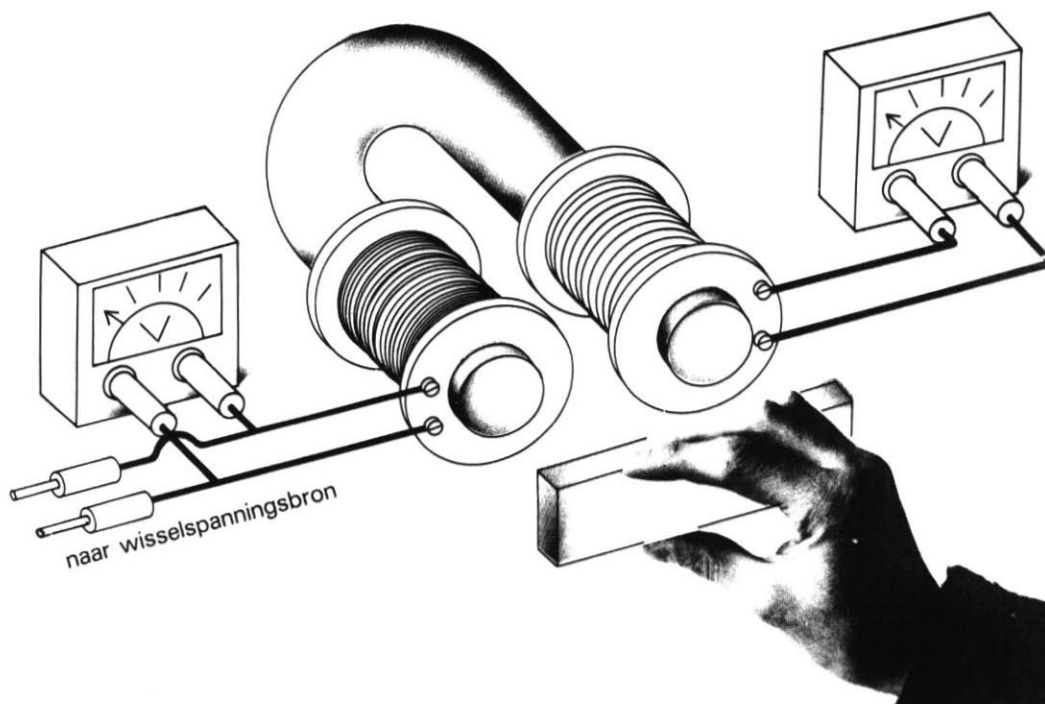
WAT JE WETEN MOET

De spoel die we aansluiten op de spanningsbron noemen we de primaire spoel, de spoel die niet op de spanningsbron is aangesloten noemen we de secundaire spoel.

Opstelling

Uitvoering

- 1 Maak de opstelling zonder het sluitstuk op de U-kern te plaatsen. Gebruik de spoel met het minste aantal wikkelingen als primaire spoel.
- 2 Meet de spanning over beide spoelen, als de spanningsbron ingeschakeld is.
- 3 Zet nu het sluitstuk erop.
- 4 Maak nu weer de spanning over beide spoelen.
- 5 Verwissel nu de spoelen en laat het sluitstuk weg.
- 6 Voer handelingen 2 tot en met 4 uit.
- 7 Welk verband bestaat er tussen de verhoudingen van het aantal wikkelingen van de spoelen ($n_p : n_s$) en de verhouding van de spanning over beide spoelen ($U_p : U_s$)?



Transformator theorie

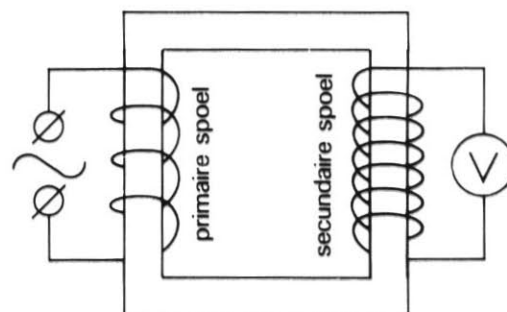


Inductiespanningen (en -stromen) krijg je als het magneetveld in een spoel verandert. Dit kan gebeuren door het magnetische veld en de spoel ten opzichte van elkaar te laten bewegen. Dat gebeurt bijvoorbeeld in je fietsdynamo.

Een andere, iets ingewikkelder manier is: naast een elektromagneet, waar een wisselende stroomsterkte doorheen loopt, een spoel te zetten. Dit wordt toegepast in de transformator.

De linkerspoel in de afbeelding is de spoel van de elektromagneet.

Deze spoel, die de primaire spoel wordt genoemd, is aangesloten op een wisselspanningsbron.



De twee spoelen hebben een gemeenschappelijke ijzerkern (meestal een U-kern met sluitstuk): dit dient om het magnetisme over te brengen naar een secundaire spoel. Met een transformator blijkt het namelijk zo te zijn, dat spanningen in de primaire en secundaire spoel zich verhouden als de aantallen windingen (n) ervan.

In formule: $U_p : U_s = n_p : n_s$

Voorbeeld

$n_p = 100$ windingen

$n_s = 1000$ windingen

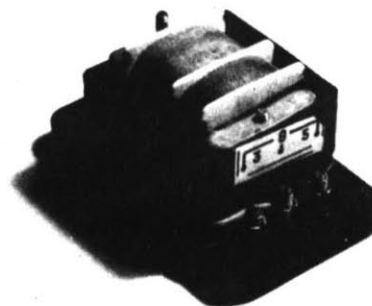
De primaire spoel is op het lichtnet aangesloten (220 V).

Invullen en uitwerken levert dan het volgende op.

$$220 : U_s = 100 : 1000$$

$$100 \cdot U_s = 220\,000$$

$$U_s = \frac{220\,000}{100} = 2200 \text{ V}$$



Transformator en vermogen activiteit 7

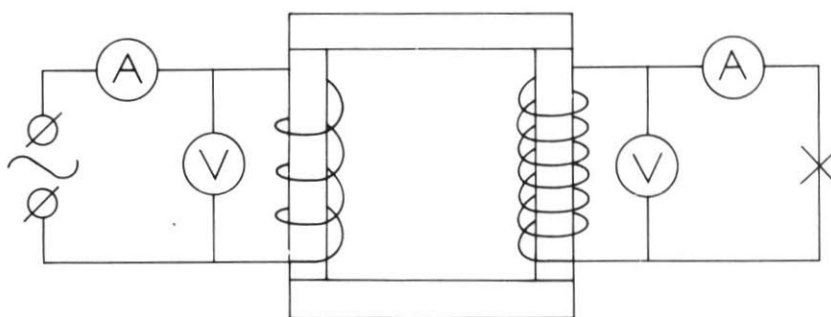
Wat je nodig hebt

- + wisselspanningsbron
- + 2 spoelen, waarvan de een tweemaal zoveel wikkelingen heeft als de ander
- + U-kern met sluitstuk
- + 2 voltmeters
- + 2 ampèremeters
- + lampje (12 V)

Opstelling

Uitvoering

- 1 Maak de getekende opstelling.
- 2 Schakel de spanningsbron aan op 6 volt.
- 3 Meet aan de primaire kant van de transformator de spanning en de stroomsterkte. Doe hetzelfde met de secundaire kant.
- 4 Bepaal het vermogen van de primaire spoel en dat van de secundaire spoel.
- 5 Wat is je conclusie?



Energieverliezen bij transformatoren theorie

Bij ideale transformatoren gaat er geen elektrische energie verloren. Het vermogen van de primaire spoel is hetzelfde als dat van de secundaire spoel.

Er geldt dus:

$$P_p = P_s \text{ ofwel: } U_p \times I_p = U_s \times I_s$$

In de praktijk klopt dat niet helemaal. Er kan in de vorm van warmte (een beetje) energie verloren gaan.

Over het algemeen zijn deze energieverliezen

vrij klein.

In opgaven houden we dan ook vaak geen rekening met deze energieverliezen.

Als er niet bijstaat dat er energieverliezen optreden in de transformator, dan mag de regel $P_p = P_s$ dus gebruikt worden.

Zo'n transformator waarbij geen energieverliezen optreden noemen we een ideale transformator.

opdrachten

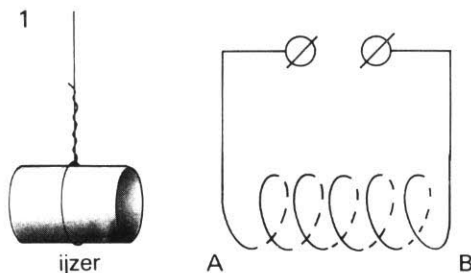
- 1 Waar hangt de grootte van de inductiespanning van een spoel vanaf?
- 2 Leg de werking van een fietsdynamo uit. Teken hierbij een schema.
- 3 Vul de tabel in, het gaat over transformatoren.

n_p	n_s	U_p (V)	U_s (V)
100	500	12	...
50	2500	...	300
1100	45	220	...
80	6000	4	...

- 4 Vul ook de volgende tabel in, het gaat om een ideale transformator.

U_p (V)	I_p (A)	U_s (V)	I_s (A)
220	0,05	11 000	...
220	0,25	...	12,5
...	0,12	8000	0,015
12	1,5	10 000	...

- 5 Kijk naar afbeelding 1.
 - a Wat gebeurt er met het stukje ijzer als er door de spoel een gelijkstroom gaat lopen van A naar B?
 - b Wat als je de stroomrichting omkeert?
 - c Wat gebeurt er met het stukje ijzer als er een wisselstroom gaat lopen door de spoel (stroomrichting verandert 50× per seconde van richting)?



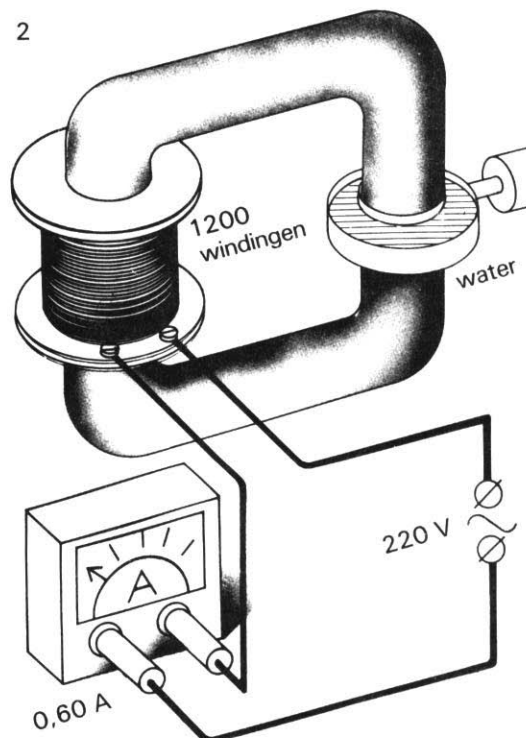
- 6 Een transformator heeft een primaire spoel van 330 windingen. De transformator wordt aangesloten op het lichtnet (220 V). Men wil er een lampje (6 V) op laten branden.
 - a Hoe groot moet het aantal windingen van de secundaire spoel zijn?
 - b Men neemt een secundaire spoel van 44 windingen. Bereken de spanning over de secundaire spoel.
- 7 Wat gebeurt er met het lampje? (Herexamen mavo-D, 1979)

Tijdens een demonstratieproef bouwt men een transformator. Deze transformator mag als een ideale transformator worden beschouwd.

In de primaire stroomkring is een spoel met 1200 windingen opgenomen. Deze spoel is aangesloten op het lichtnet dat

een spanning van 220 V heeft. Als secundaire spoel gebruikt men een ringvormig metalen bakje. In de goot van het bakje bevindt zich een hoeveelheid water. De stroommeter, die in de primaire kring is opgenomen, wijst een stroomsterkte van 0,60 A aan. Zie afbeelding 2.

- a Leg uit, dat een transformator op een wisselspanning en niet op een gelijkspanning moet zijn aangesloten om te kunnen werken.
- b Bereken de secundaire spanning.
- c Bereken de elektrische stroomsterkte in het ringvormige bakje.
- d De elektrische stroom die in het bakje met warm water ontstaat, veroorzaakt een temperatuurstijging van 80 K. De warmtecapaciteit van het bakje met water is 135 J/K. Bereken hoeveel warmte het bakje met water in dit geval heeft opgenomen.
- e Deze temperatuurstijging bereikt men, nadat het apparaat 1,5 minuut is ingeschakeld. Bereken hoeveel warmte in die 1,5 minuut door de elektrische stroom in het ringvormige bakje is ontwikkeld.

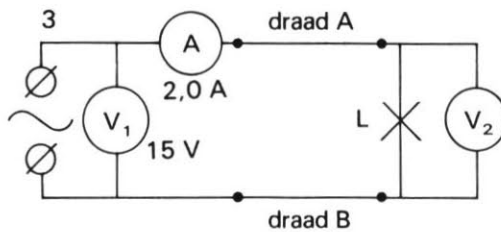


- 8 (Herexamen mavo-D, 1982)

Een van de grote problemen bij het transport van elektrische energie over grote afstanden is het energieverlies dat optreedt.

Om iets meer van het verlies van energie in de kabels te weten te komen, bouwen we tijdens een practicum twee schakelingen waarmee we de werkelijkheid zo dicht mogelijk willen benaderen. De eerste is

getekend in afbeelding 3.
 V_1 geeft de spanning over de bron aan.



- Bereken het vermogen dat de bron aan de schakeling levert.
- De weerstand van de draden A en B is samen $3,0 \Omega$. De weerstand van de overige draden mag verwaarloosd worden. Bereken het vermogensverlies in de draden A en B samen.
- Toon door een berekening aan dat de

spanningsmeter V_2 $9,0 \text{ V}$ aan moet wijzen.

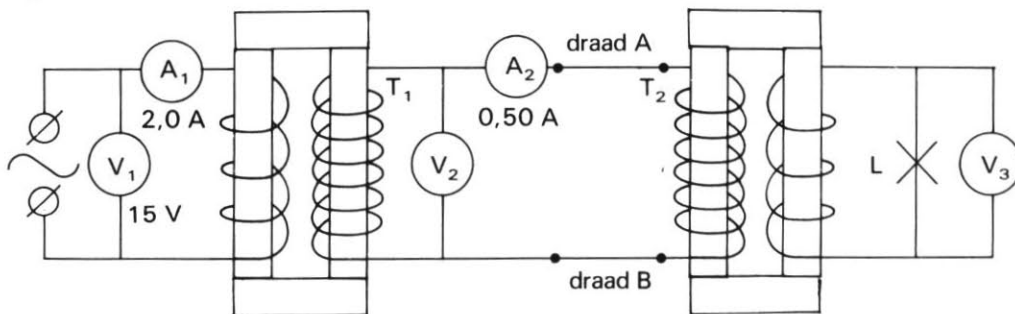
In werkelijkheid gebruikt men transformatoren bij het transport van elektrische energie. Daarom nemen we in onze tweede schakeling twee transformatoren T_1 en T_2 op (afbeelding 4).

Ook nemen we nog een spanningsmeter en een stroommeter in de schakeling op. De transformatoren mogen we als ideaal beschouwen.

De weerstand van de draden A en B samen is nog steeds $3,0 \Omega$.

- Stroommeter A_2 wijst $0,50 \text{ A}$ aan. Bereken de spanning die door de spanningsmeter V_2 wordt aangewezen.
- Bereken weer het vermogensverlies in de draden A en B samen.
- Verklaar nu duidelijk wat het voordeel is van transformatoren bij het transport van elektrische energie over lange afstanden.

4

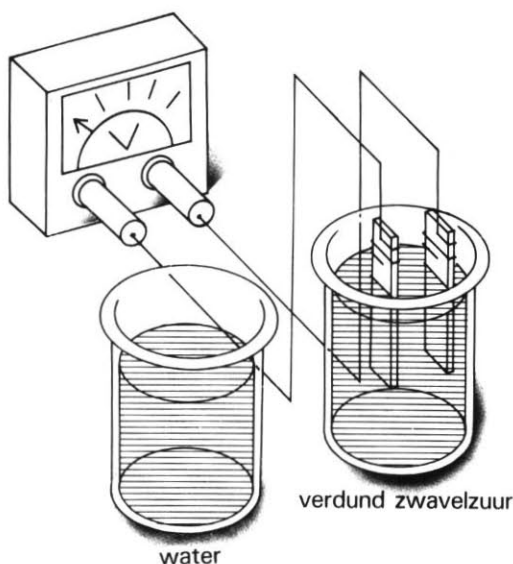


Een batterij activiteit 8

Wat je nodig hebt

- + bekglas, gevuld met water
- + bekglas, gevuld met verdund zwavelzuur
- + snoeren
- + voltmeter
- + staafjes zink, koper, koolstof, ijzer, lood (elektroden)

Opstelling



WAT JE WETEN MOET

Zorg ervoor dat je de elektrodes goed schoonmaakt voor je begint. Spoel ze na elke meting goed af.

Uitvoering

- 1 Maak de opstelling.
- 2 Doe de in de tabel genoemde elektroden, eerst in water en dan in verdund zwavelzuur. Meet tegelijkertijd de spanning.
- 3 Noteer je metingen in de tabel.
- 4 Wat is je conclusie?

elektroden	spanning (V)	
	in water	in verdund zwavelzuur
koper + lood		
koper + ijzer		
koper + zink		
koper + koolstof		
koper + koper		

Voor de theorie van batterijen en accu's: zie "Elektrische Schakelingen" blz. 59 t/m 61.

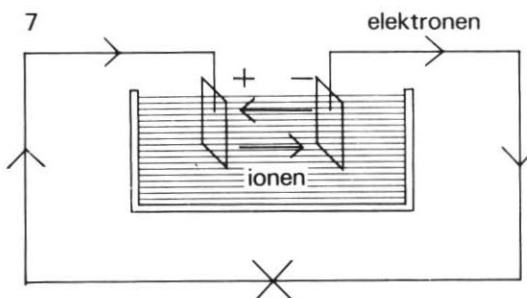
Stroom in een vloeistof theorie

Stroomgeleiding in vloeistoffen

Zoals je weet loopt er alleen stroom als de stroomkring gesloten is; dit betekent dat er in dat geval in de elektrische cel of batterij of accu ook stroom moet lopen. Het lopen van elektrische stroom is niets anders dan het verplaatsen van elektrische lading. In vrijwel alle vaste stoffen, denk maar aan metalen als koper, wordt elektrische stroom of het verplaatsen van lading veroorzaakt door elektronen. In vloeistoffen zoals water is dit niet zo. Normaal gesproken geleidt water de stroom helemaal niet (of eigenlijk een klein beetje), maar dat verandert als je in water bepaalde stoffen als zouten (zoals keukenzout) of zuren (azijn, zoutzuur, zwavelzuur) oplost.

Deze stoffen blijven niet meer helemaal intact als je ze in water oplost, ze splitsen dan in twee soorten stukjes of deeltjes, waarvan de één positief en de ander negatief geladen is. Deze deeltjes zorgen dan voor de geleiding van de elektrische stroom. Ze hebben ook een naam: de positieve deeltjes noemt men

positieve ionen, de negatieve deeltjes negatieve ionen.



De afbeelding geeft schematisch weer hoe een elektrische cel stroom levert aan een daarop aangesloten lampje. In de vloeistof wordt de elektrische stroom veroorzaakt door positieve en negatieve ionen; in de metalen delen, zoals de snoeren en het lampje, door elektronen.

bewegingswet		22
theorie	de beweging met vaste versnelling of vertraging	22
opdrachten		23
kracht-weg-arbeid-energie		24
theorie	arbeid en energie	24
theorie	energie-omzetting	25
opdrachten		26

De beweging met vaste versnelling of vertraging theorie

In dit theorieblad wordt nader gekeken naar de beweging met een steeds even grote versnelling of vertraging.

Een bromfietser trekt regelmatig op, na
 1 seconde rijdt hij 7,2 km/uur (2 m/s)
 2 seconden rijdt hij 14,4 km/uur (4 m/s)
 3 seconden rijdt hij 21,6 km/uur (6 m/s)
 4 seconden rijdt hij 28,8 km/uur (8 m/s)
 5 seconden rijdt hij 36,0 km/uur (10 m/s)

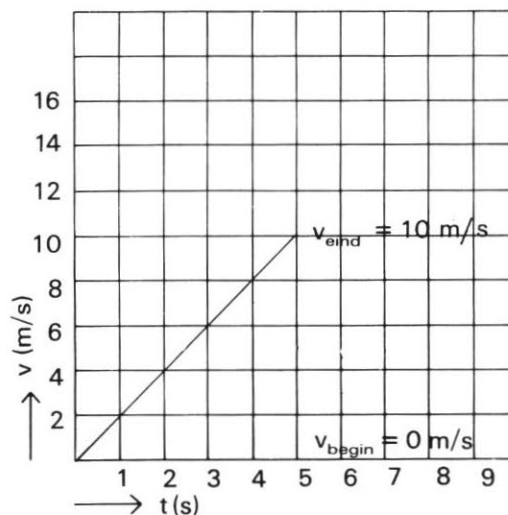
Dus elke seconde rijdt hij 7,2 km/uur (2 m/s) sneller.

We zeggen dat de versnelling 2 m/s in één seconde is, ofwel de versnelling is 2 m/s².

In formule:

$$a = \frac{v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}}{t} = \frac{\text{snelheidstoename}}{\text{benodigde tijd}}$$

Grafisch uitgezet ziet het er als volgt uit. Gedurende het optrekken heeft de bromfietser een bepaalde afstand afgelegd. Met behulp van $s = v_{\text{gem}} \cdot t$ of $s_t = v_b \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ en de tabel kunnen we een s-t-diagram maken.



t (s)	$v_{\text{gem}} = \frac{v_e + v_b}{2}$ (m/s)	$s_t = v_{\text{gem}} \cdot t$ (m)	$s_t = v_b \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ (m)
0	0	0	0
1	$\frac{2+0}{2} = 1$	1.1 = 1	$0.1 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1^2 = 1$
2	$\frac{4+0}{2} = 2$	2.2 = 4	$0.2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2^2 = 4$
3	$\frac{6+0}{2} = 3$	3.3 = 9	$0.3 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 3^2 = 9$
4	$\frac{8+0}{2} = 4$	4.4 = 16	$0.4 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4^2 = 16$
5	$\frac{10+0}{2} = 5$	5.5 = 25	$0.5 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 = 25$

De afleiding die nu volgt, hoef je niet te kennen.

Afleiding van $s_t = v_b \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$:

s_t betekent afgelegde weg op tijdstip t.

De andere symbolen zijn al bekend.

De eerste wet geldt alleen maar als de kracht die werkt steeds even groot is en als de richting van de kracht gelijk is of tegengesteld is aan de bewegingsrichting.

Er geldt:

$$s_t = \frac{1}{2} (v_b + v_e) \cdot t \text{ of}$$

$$s_t = \frac{1}{2} v_b \cdot t + \frac{1}{2} v_e \cdot t \text{ (I)}$$

Ook geldt:

$$a = \frac{v_e - v_b}{t} \text{ of}$$

$$a \cdot t = v_e - v_b \text{ dus}$$

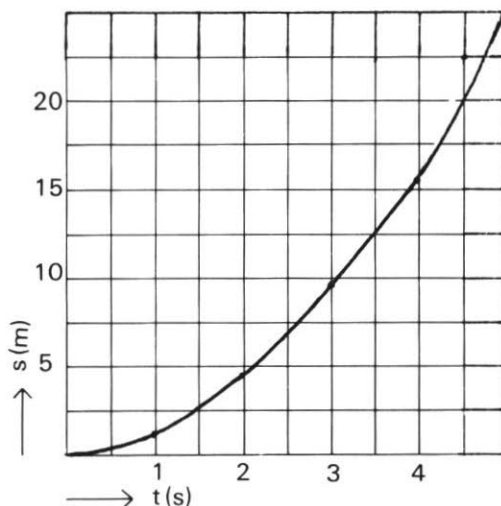
$$v_e = v_b + at \text{ (II)}$$

Substitueer II in I:

$$s_t = \frac{1}{2} v_b \cdot t + \frac{1}{2} (v_b + a \cdot t) \cdot t$$

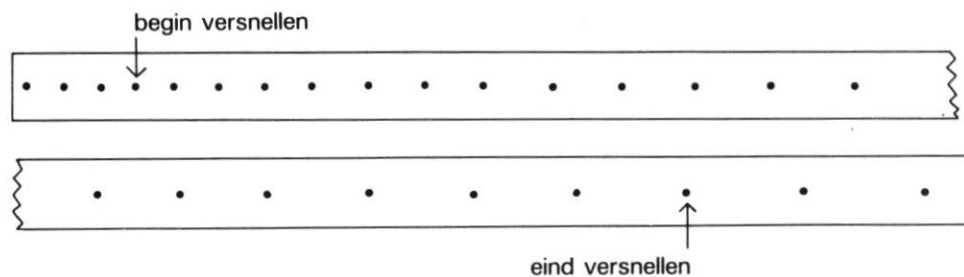
$$s_t = \frac{1}{2} v_b \cdot t + \frac{1}{2} v_b \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$s_t = v_b \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$



opdrachten

- 1** Een auto die 108 km/uur ($= 30$ m/s) rijdt gaat regelmatig remmen. De volgende waarnemingen worden gedaan.
Na 2 s rijdt hij nog 24 m/s
Na 4 s rijdt hij nog 18 m/s
Na 6 s rijdt hij nog 12 m/s
Na 8 s rijdt hij nog 6 m/s
Na 10 s rijdt hij nog 0 m/s
Maak van deze beweging een v-t-diagram en een s-t-diagram (zie voorbeeld hiervoor).
- 2** Een auto remt in 5 seconden regelmatig af van 30 m/s tot 20 m/s.
a Hoe groot is de afstand die de auto in deze tijd aflegt?
b Bereken de vertraging.
- 3** Met een tijdtikker is een opname gemaakt van een versnellende beweging (50 tikken per seconde). De opname is 10× verkleind. Het strookje is doorgeknipt bij A.
a Meet de afstand waarover versneld werd.
b Bereken de snelheid aan het begin en aan het eind van de beweging.
c Meet de tijd gedurende welke versneld werd en bereken de versnelling. Bereken ook de afgelegde weg tijdens het versnellen.
d Controleer of de gemeten afstand klopt met de theoretisch berekende afstand.



Arbeid en energie theorie

Een fietser die ophoudt met trappen, verliest in enkele seconden zijn snelheid. Dat komt door de wrijvingskrachten van lucht, weg en wielen, die een fietser tegenwerken, een soort afremkracht.

In het geval dat er een wrijvingsloze situatie zou bestaan, zou de snelheid, die er is, altijd behouden blijven. In de ruimte, ver weg van de aarde, is dit zo. Daar houdt een voorwerp (bal, hamer, ruimtecapsule) die een bepaalde snelheid heeft, deze snelheid, omdat er geen enkele remkracht of versnelkracht is.

Pas als zo'n voorwerp in de buurt van een planeet komt, wordt hij door de aantrekkingskracht van die planeet afgeremd of versneld.

Op een luchtkussenbaan, waar de wrijvingskrachten heel klein zijn, houdt een wagentje vrijwel steeds dezelfde snelheid; de snelheid wordt heel langzaam minder.

Op de fiets moet je steeds een kracht leveren om de wrijvingskrachten van lucht, banden, weg en wielen te weerstaan.

Je gaat sneller rijden als jouw kracht groter is dan de tegenwerkende kracht en je gaat langzamer rijden als jouw kracht kleiner is dan de tegenwerkende kracht. Je blijft even snel rijden als beide krachten even groot zijn.

Arbeid

Dit fietsen, het steeds leveren van een kracht, kost arbeid, lichamelijk werk, waar je moe van wordt en waar je honger van krijgt. In de natuurkunde kennen we ook het begrip arbeid. Het betekent daar iets anders dan moe worden of honger krijgen.

In de natuurkunde noemen we arbeid (W) het produkt van kracht en weg, dus: $W = F \times s$.

Voorbeeld 1

Een fietser die een kracht van 100 newton uitoefent over een traject van 5000 meter, heeft een arbeid geleverd.

arbeid = kracht $\times$ weg

$W = F \times s$

$W = 100 \text{ newton} \times 5000 \text{ meter}$

$W = 500\,000 \text{ newton meter}$

$W = 500\,000 \text{ joule}$

Voorbeeld 2

Een auto remt met een kracht van 5000 N over een traject van 150 meter. De auto moet dus over die 150 meter steeds de remkracht van 5000 N weerstaan.

De remkracht van de auto levert dus een arbeid.

$W = F \times s$

$W = 5000 \text{ N} \times 150 \text{ m}$

$W = 750\,000 \text{ newton meter}$

$W = 750\,000 \text{ joule}$

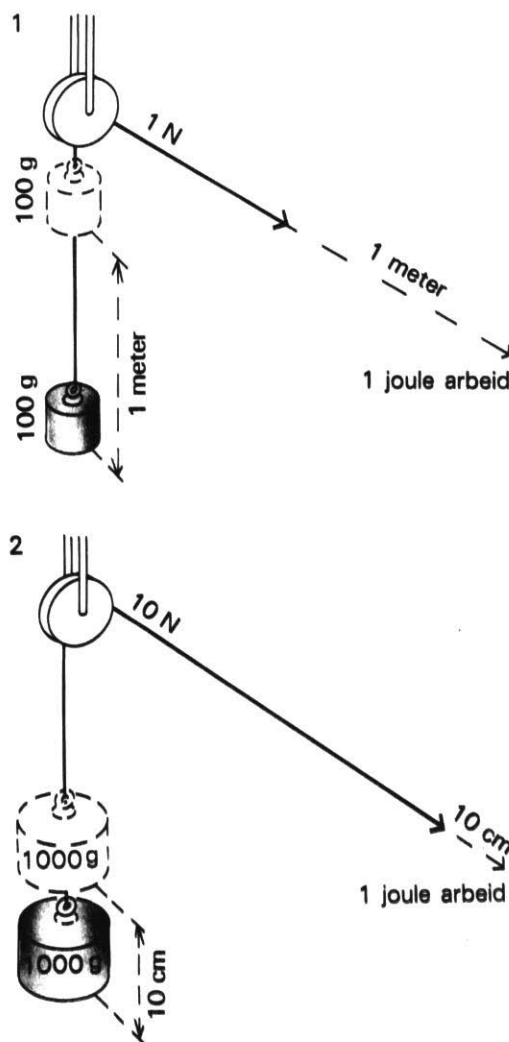
Dit lijkt een indrukwekkend getal. Toch is het leveren van 1 joule arbeid maar een klein beetje. Dit komt namelijk overeen met het omhoogtrekken van een gewicht van 1 N (massa 100 gram) over 1 meter, of met het

omhoogtrekken van een gewicht van 10 N (massa 1 kg) over 10 cm.

Als jij de trap oploopt van de begane grond in je huis naar de eerste verdieping (3 meter) en je weegt 600 N (massa 60 kg), dan lever je al $600 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 1800 \text{ J}$ arbeid.

Als je je tas (gewicht 40 N) van de grond op de bank zet (80 cm hoog), verricht je een arbeid van $40 \text{ N} \times 0,8 \text{ m} = 32 \text{ J}$.

Eén joule arbeid is dus niet zoveel.



Kinetische energie

Fietsen kost arbeid. Meestal lever je die arbeid zelf door te trappen. Op het moment dat jij ophoudt met trappen, rijdt de fiets toch nog een stukje door. De fiets verricht gedurende dit stukje arbeid, immers hij moet de wrijvingskrachten overwinnen.

In de natuurkunde zeg je dat de fiets (en de fietser natuurlijk) door hun snelheid arbeid kunnen verrichten en dus energie bezitten. Een fietser die hard rijdt, bezit veel energie, want hij kan veel arbeid verrichten. Het duurt veel langer voordat een hard rijdende fiets stilstaat.

Dus: 'iets' heeft energie als het arbeid kan verrichten.

De energie die de fiets en fietser hebben, noemen we bewegingsenergie of kinetische energie (E_{kin}). Deze bewegingsenergie kan in een formule uitgedrukt worden en wel:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} mv^2$$

Hierin is:

m de massa in kg

v de snelheid in m/s

E de energie in J

Een fietser (80 kg) die met een snelheid van 18 km/uur (5 m/s) fietst bezit dus een energie van

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 80 \text{ kg} (5 \text{ m/s})^2 = 1000 \text{ J}$$

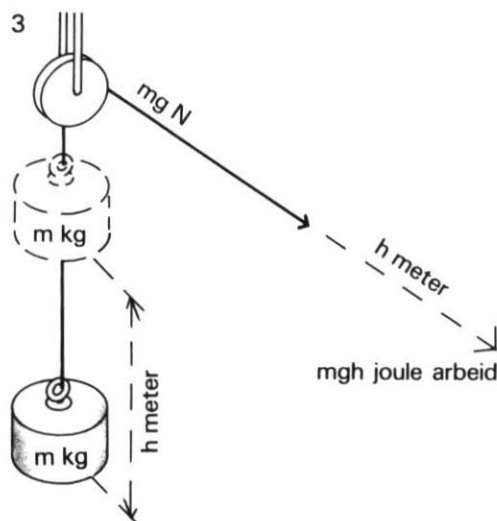
De fietser kan dus 1000 J arbeid verrichten. Hij kan dus met een remkracht van 50 N 20 meter uitlopen of hij kan met een remkracht van 500 N 2 meter uitlopen. Als de fietser botst, is hij zijn energie in een heel korte tijd kwijt. De kracht is dan heel groot. De wet die je in deze theoriebladen geleerd hebt ($F \times s = \frac{1}{2} mv_{eind}^2 - \frac{1}{2} mv_{begin}^2$) kun je nu ook als volgt benoemen.

Doordat een voorwerp arbeid verricht ($F \times s$), vermindert zijn bewegingsenergie ($\frac{1}{2} mv^2$). De wet geeft aan hoeveel kinetische energie verloren gaat ($\frac{1}{2} mv_{eind}^2 - \frac{1}{2} mv_{begin}^2$) als dat voorwerp arbeid verricht. De wet geeft dus aan hoe arbeid en energieverandering samenhangen bij rijdende of bewegende voorwerpen.

Potentiële energie

Als een voorwerp met een massa van m kilogram op de grond ligt, trekt er een gravitatiekracht van mg newton aan, naar beneden gericht. Om het voorwerp op te trekken moet je er een opwaartse kracht van mg newton op uitoefenen. Als de kracht het voorwerp h

meter verticaal omhoog brengt, is de verrichte arbeid, $F \times s$, gelijk aan $mg \times h$ joule.



Er is energie omgezet en deze kan nu opgeslagen worden door het voorwerp op h meter boven de vloer te houden. We noemen deze opgeslagen energie gravitatie-energie of potentiële energie (E_{pot}).

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

m in kg

g in m/s²

h in m

E_{pot} in J

Voorbeeld

Bereken de potentiële energie van een steen (m = 2 kg) op 80 m hoogte.

Oplossing

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{pot} = 2 \cdot 10 \cdot 80 = 1600 \text{ J}$$

Energieomzetting theorie

Mechanische energie

Men noemt de som van de kinetische energie en potentiële energie mechanische energie.

Valt een steen, dan neemt zijn snelheid toe, dus ook de kinetische energie neemt toe. Zijn potentiële energie neemt af, want hij komt dichterbij de grond.

Kunnen we de luchtweerstand verwaarlozen, dan neemt de kinetische energie evenveel toe als de potentiële energie afneemt. De som van die twee energieën, dus de mechanische energie van de massa, is dan constant.

Bij een beweging onder invloed van alleen zwaartekracht geldt dus:

$$E_{kin} + E_{pot} = \text{constant}$$

Deze regel heet de wet van behoud van mechanische energie.

De wet van behoud van mechanische energie is een bijzonder geval van de wet van behoud



van energie. Hierop komen we in het hoofdstuk 'Energie' terug.

Valt de steen in bovenstaand voorbeeld op de grond, dan is zowel de kinetische energie als de potentiële energie wel nul geworden.

De energie is omgezet in arbeid (kuil in de grond) en warmte.

We besluiten dit hoofdstuk met een voorbeeld van de wet van behoud van mechanische energie.

Voorbeeld

Een voorwerp ($m = 4 \text{ kg}$) wordt vanaf de grond met een snelheid van 30 m/s loodrecht omhoog geschoten. Welke hoogte bereikt het? (Luchtweerstand verwaarlozen.)

Oplossing

Op de grond is $E_{\text{pot}} = mgh = 0 \text{ J}$, want de hoogte is nul meter.

E_{kin} op de grond is $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot (30)^2 = 1800 \text{ J}$.

In het hoogste punt moet de som van E_k en E_p weer 1800 J zijn.

In het hoogste punt is de snelheid van het voorwerp nul meter per seconde, dus $E_{\text{kin}} = 0 \text{ J}$

Dus:

$$E_{\text{pot}} = 1800 \text{ J}$$

$$mgh = 1800 \text{ J}$$

$$4 \cdot 10 \cdot h = 1800 \text{ J}$$

$$h = \frac{1800}{40} = 45 \text{ meter}$$

opdrachten

1 Een man met een massa van 80 kg staat op $1,5 \text{ m}$ hoogte.

Hoe groot is zijn potentiële energie?

2 Bereken de kinetische energie van een hockey-bal, massa bal is $0,3 \text{ kg}$, als hij een snelheid heeft van 15 m/s .

3 Een fietser rijdt met een snelheid van 18 km/uur (5 m/s). Zijn kinetische energie is 1250 joule . Bereken de massa van fiets met fietser.

4 Bereken de energie die nodig is om de snelheid van een auto, massa 800 kg , te vergroten van 10 m/s naar 30 m/s .

5 Een auto met een massa van 800 kg , die een snelheid heeft van 15 m/s , begint te remmen. De remweg is 40 m . Bereken:

- de kinetische energie van de auto voordat hij begon te remmen
- de arbeid verricht door de remkracht
- de remkracht

6 Een hijskraan hijst een last met een gewicht van 4000 N op over een afstand van 12 m .

Hoeveel arbeid verricht de hijskraan?

7 Een auto overwint een constante wrijvingskracht van 1800 N . Hij legt daarbij een afstand van 6 km af.

Hoeveel arbeid verricht de auto?

8 Een steen van 3 kg valt over een afstand van 20 m naar beneden.

Hoeveel arbeid verricht de zwaartekracht? Met welke snelheid komt de steen op de grond?

9 (Examen mavo-D, 1980)

Een shuttle, waarmee men badminton speelt (zie afbeelding 1) ondervindt veel wrijving bij zijn beweging door de lucht. In afbeelding 2 is een deel van de baan getekend. In het punt P van de baan is de richting van de snelheid $\vec{v}$ aangegeven.

- Teken in afbeelding 2 de richting van de wrijvingskracht die in P op de shuttle werkt.

De grootte van de snelheid $\vec{v}$ in het punt P is $6,0 \text{ m/s}$.

De hoogte h waarop de shuttle zich bevindt is $4,0 \text{ m}$ boven de vloer.

De massa van de shuttle bedraagt $5,0 \text{ gram}$.

b Bereken de kinetische energie van de shuttle in P.

c Bereken de potentiële energie van de shuttle in P ten opzichte van de vloer.

d De potentiële energie in Q is:

– groter dan die in P

– gelijk aan die in P

– kleiner dan die in P

Kies het juiste antwoord en licht de keuze toe.

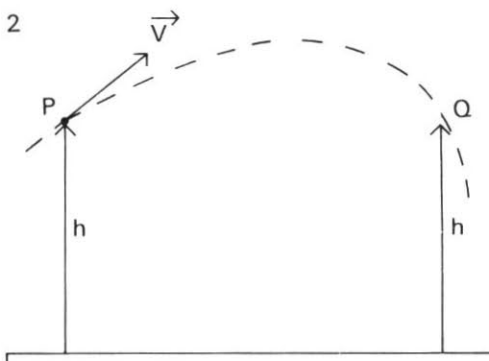
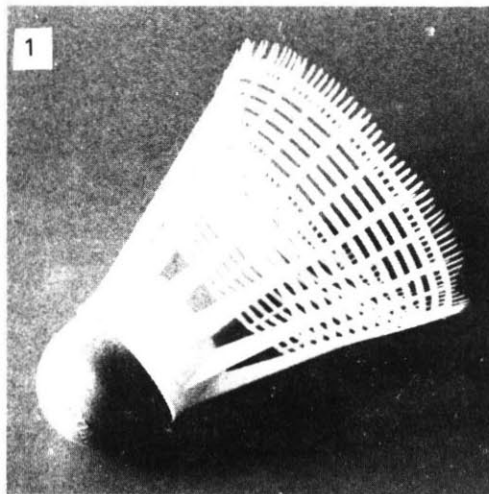
e De kinetische energie in Q is:

– groter dan die in P

– gelijk aan die in P

– kleiner dan die in P

Kies het juiste antwoord en licht de keuze toe.



10 (Examen mavo-D, 1982)

3

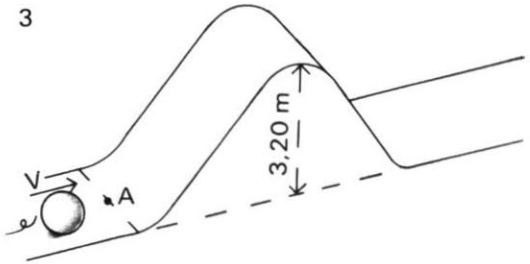
Een bal rolt met een snelheid (v) naar een heuvel (zie afbeelding 3).

De massa van de bal is 600 g.

De heuvel is 3,20 m hoog.

We verwaarlozen de invloed van de wrijvingskracht.

Bereken hoe groot de snelheid van de bal in het punt A minstens moet zijn om de top van de heuvel te bereiken.



fase-overgangen		29
activiteit 1	ijs en water	29
theorie	smelt- en stollingswarmte	29
opdrachten		30
activiteit 2	ijs, water, stoom	30
theorie	verdampen, condenseren	31
opdrachten		31
overzicht		32
theorie	alle termen op een rij	32
opdrachten		32

IJs en water activiteit 1

Wat je nodig hebt

- + een geïsoleerd blik met 2 gaten in het deksel of een joulemeter
- + fijngestampt ijs
- + kokend water
- + thermometer
- + roerstaaf

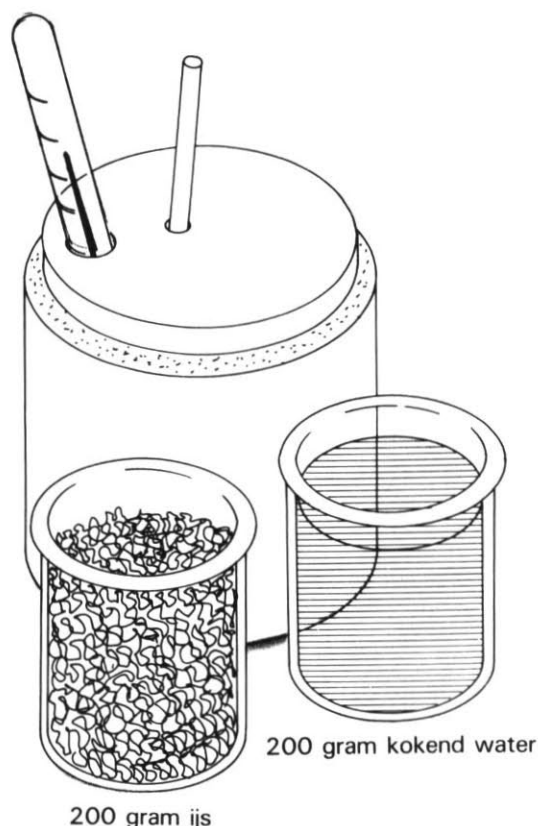
Uitvoering

- 1 Doe 200 g fijngestampt ijs in het blik. Bepaal de temperatuur ervan.
- 2 Doe er 200 g kokend water bij. Bepaal de eindtemperatuur van het geheel.

Vraag

Je gemeten eindtemperatuur is waarschijnlijk lager dan je verwachting. Heb je een idee hoe dit zou kunnen komen?

Opstelling



Smelt- en stollingswarmte theorie

In activiteit 1 werd de eindtemperatuur aanmerkelijk lager, dan je zo op het eerste gezicht zou verwachten. Blijkbaar is er veel warmte nodig om het ijs te laten smelten, de smeltwarmte.

De smeltwarmte van een stof is de hoeveelheid energie, die nodig is om 1 gram (1 kg) van die stof te smelten.

Ijs heeft een smeltwarmte van $3,3 \times 10^5$ J/kg.

Om 1 kg ijs van 0°C te laten smelten heb je 330 000 J nodig.

Omgekeerd blijkt dat bij stollen diezelfde hoeveelheid warmte vrij komt. Als 1 kg water van 0°C ijs wordt, komt er dus ook weer 330 000 J vrij. Dus:

smeltwarmte = stollingswarmte

Elke stof heeft zijn eigen smelt- (en stollings-) warmte.

Rekenvoorbeeld

Bij een proef wordt 100 g ijs van -10°C verwarmd tot al het ijs water is geworden van 0°C .

Het ijs zit in een bekglas met een warmte-

capaciteit van $200 \text{ J}/^\circ\text{C}$. Er wordt een dompelaar gebruikt van 200 W. Hoe lang duurt het voordat al het ijs water is geworden van 0°C ?

soortelijke warmte ijs = $2,2 \times 10^3 \text{ J/kg K}$
smeltwarmte ijs = $3,3 \times 10^5 \text{ J/kg}$.

Oplossing

Opgenomen warmte-energie:

a 100 g ijs van -10°C tot 0°C =
 $0,1 \times 2,2 \times 10^3 \times 10 = 2,2 \times 10^3 \text{ J}$

b bekglas van -10°C tot 0°C =
 $10 \times 200 = 2 \times 10^3 \text{ J}$

c 100 g ijs smelten = $0,1 \times 3,3 \times 10^5 =$
 $33 \times 10^3 \text{ J}$

d totale opgenomen warmte-energie is
 $37,2 \times 10^3 \text{ J}$

Afgestane warmte-energie:
door dompelaar van 200 W (= 200 J/s)
 $200 \times \text{tijd in seconden}$

opgenomen warmte-energie = afgestane
warmte-energie

$$37,2 \times 10^3 = 200 \times \text{tijd}$$

$$\text{tijd} = \frac{37,2 \times 10^3}{200} = 186 \text{ s} = 3 \text{ minuten}$$

en 6 seconden.

opdrachten

- 1 Uit de resultaten van activiteit 1 kon je zelf de smeltwarmte van ijs bepalen.
Bedenk eerst, hoe je dat gaat doen. Bereken dan uit jouw gegevens de smeltwarmte van ijs.
Komt jouw resultaat overeen met $3,3 \times 10^5 \text{ J/kg}$? Zo niet, probeer daar dan een verklaring voor te geven.
- 2 Voor smelten is erg veel warmte nodig.
 - a Bereken hoeveel warmte nodig is om 500 g ijs te laten smelten.
(smeltwarmte van ijs = $3,3 \times 10^5 \text{ J/kg}$)
 - b Bereken hoeveel graden je 500 g water zou kunnen verwarmen met eenzelfde hoeveelheid warmte.
- 3 Een meer met een oppervlak van $250\,000 \text{ m}^2$ is bedekt met een laag ijs van gemiddeld 0,1 m dik. De temperatuur van het ijs is -8°C .
Hoeveel warmte is er nodig om al het ijs te doen smelten?
(Zoek de ontbrekende gegevens op in de tabel.)
- 4 Een stuk koper van 250 gram wordt gesmolten. Het koper heeft eerst een temperatuur van 20°C .
Bereken hoeveel warmte er in het totaal nodig is.
(Zoek de ontbrekende gegevens weer op in de tabel.)
- 5 In lampen is de gloeidraad meestal gemaakt van wolfram.
Probeer daar een verklaring voor te geven.

	soortelijke warmte (J/g K)	smeltpunt (K)	smeltwarmte (J/g)	kookpunt (K)	verdampingswarmte (J/g)
aardgas	1,9	—	—	—	—
alcohol	2,43	159	105	351	841
aluminium	0,88	932	400	—	—
benzeen	1,7	279	127	353	—
goud	0,13	1336	66	—	—
koper	0,39	1356	205	—	—
kwik	0,14	234	120	—	—
lood	0,13	601	250	—	—
messing	0,38	—	—	—	—
nikkel	0,46	1728	301	—	—
olijfolie	1,65	—	—	—	—
paraffine	2,9	325	—	—	—
petroleum	2,1	—	—	—	—
water	4,2	273	330	373	2300
wolfram	0,13	3650	190	—	—
ijs	2,2	273	330	—	—
ijzer	0,46	1812	270	—	—
zilver	0,24	1234	105	—	—
zink	0,39	693	107	—	—

IJs, water, stoom activiteit 2

Opstelling



Wat je nodig hebt

- + joulemeter of geïsoleerd blik met deksel
- + dompelaar van minstens 150 W
- + thermometer
- + balans
- + ijs

Uitvoering

- 1 Doe 100 gram ijs in het blik. Schakel de dompelaar in en meet om de halve minuut de temperatuur.
- 2 Als al het ijs gesmolten is, ga dan door met verwarmen.
Meet daarbij weer om de halve minuut de temperatuur tot het water kookt.

- 3 Zet je blik daarna op een balans en bepaal of er water is 'verdwenen'.
- 4 Verwerk je metingen in een temperatuur-tijd-diagram en verklaar het verloop van jouw diagram.

Vragen

- 1 Hoeveel gram water is er bij jou verdampt?
- 2 Probeer met behulp van je grafiek te bepalen hoeveel joule dat verdampen heeft gekost.

Verdampen, condenseren theorie

Bij activiteit 2 merkte je, dat op het laatst, als het water gaat koken, de temperatuur weer niet verder stijgt. Alle warmte, die de dompelaar dan levert, wordt gebruikt om het water te laten verdampen. Verdampen kost dus warmte: de verdampingswarmte.

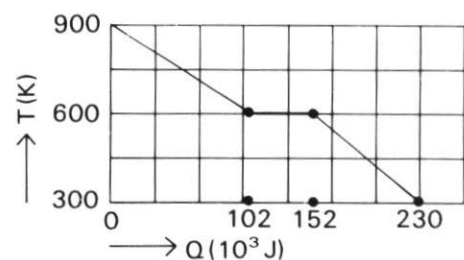
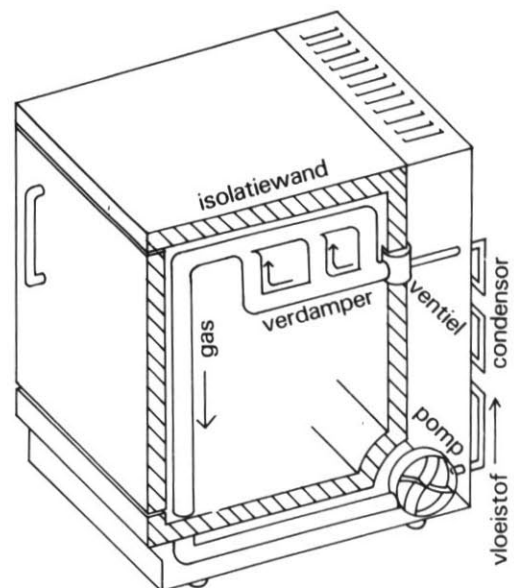
De verdampingswarmte van een stof is de hoeveelheid energie, die nodig is om 1 gram (kg) van die stof te verdampen.

Om 1 kg water te laten verdampen heb je 23×10^5 joule nodig. Omgekeerd geldt ook weer, dat bij condenseren dezelfde hoeveelheid warmte vrijkomt: de condensatiewarmte (van water is die dus ook 23×10^5 J/kg). Dus:

verdampingswarmte = condensatiewarmte
Elke stof heeft zijn eigen verdampings- (en condensatie)warmte.

opdrachten

- 1 Bepaal uit je resultaten van activiteit 2 de verdampingswarmte van water.
Komt dit overeen met 23×10^5 J/kg?
Zo nee, probeer daar dan een verklaring voor te geven.
- 2 Als je bezweet op de tocht zit, koel je veel sterker af dan wanneer je droog op de tocht zit.
Probeer dit te verklaren.
- 3 Probeer met behulp van de afbeelding te verklaren hoe een koelkast werkt.
- 4 Twee kilogram lood wordt afgekoeld van 900 K tot 300 K.
Tijdens dit proces wordt de temperatuur gemeten aan de hoeveelheid warmte, die hierbij vrijkomt.
Deze meetresultaten zijn verwerkt in het diagram.
Bereken uit het verloop van het diagram:
 - a de soortelijke warmte van vloeibaar lood
 - b de soortelijke warmte van vast lood
 - c de stollingstemperatuur van lood
 - d de stollingswarmte van lood
- 5 Voor eau de cologne worden altijd 'vluchtige' vloeistoffen gebruikt.
Probeer te verklaren waarom.
- 6 Zelfs bij erg warm weer kan je het erg koud krijgen als je constant in het water duikt en er daarna gelijk weer uitkomt.
Probeer uit te leggen waarom.



Alle termen op een rij theorie

In de warmteleer heb je te maken met een groot aantal begrippen. We zetten ze op een rijtje aan de hand van het volgende voorbeeld.

200 g ijs van -10°C wordt verwarmd tot al het ijs gesmolten is (en water is geworden). Het water wordt daarna verwarmd tot 100°C . Er wordt net zo lang doorgegaan met verwarmen tot al het water is verdampt. Het ijs zit in een bekglas met een bepaalde warmtecapaciteit.

- a 200 g ijs van -10°C tot 0°C en bekglas van -10°C tot 0°C
- b 200 g ijs van 0°C smelten

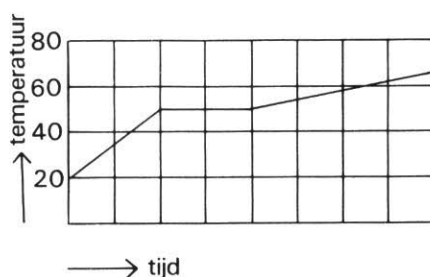
- c 200 g water van 0°C tot 100°C en bekglas van 0°C tot 100°C
- d 200 g water van 100°C verdampen

- a $0,2 \times \text{soortelijke warmte ijs} \times 10 + \text{warmtecapaciteit bekglas} \times 10$
- b $0,2 \times \text{smeltingswarmte ijs}$
- c $0,2 \times \text{soortelijke warmte water} \times 100 + \text{warmtecapaciteit bekglas} \times 100$
- d $0,2 \times \text{verdampingswarmte water}$

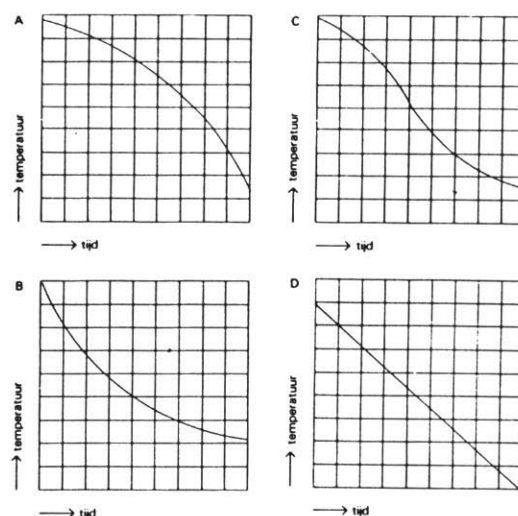
We hebben nu:
200 g waterdamp van 100°C

opdrachten

- 1 Als het blik een warmtecapaciteit van 150 J/K heeft, bereken dan de totale hoeveelheid warmte, die nodig is om van 200 g ijs van -10°C , 200 g waterdamp te maken van 100°C .
- 2 Probeer de omgekeerde weg (van 200 g waterdamp weer 200 g ijs van -10°C via afkoeling) op dezelfde manier schematisch weer te geven.
- 3 Een groepje leerlingen heeft een stoldiagram van kaarsenwas opgemaakt. Nadat ze het glas verwarmd hadden tot 65°C , lieten ze het afkoelen. Elke halve minuut werd hierbij de temperatuur gemeten.
 - a Wat is het smeltpunt van deze was?
 - b Iemand concludeert uit het diagram: 'De soortelijke warmte van vloeibare was is kleiner dan de soortelijke warmte van vaste was.' Laat met een getallenvoorbeeld zien hoe je dit uit het diagram kunt aflezen.
 - c Een andere leerling merkt echter op: 'Misschien zijn de soortelijke warmtes van de vloeibare was en de vaste was toch wel hetzelfde. Het verschil in de twee grafiekstukken kan ook komen doordat het temperatuurverschil met de omgeving bij de vaste stof kleiner is.' Ben je het eens of oneens met deze veronderstelling? Licht je mening toe.



- 4 Een bekglas met water van 80°C laten we afkoelen in een grote kamer, waarin een constante temperatuur van 18°C heerst. Je ziet vier grafieken afgebeeld die een temperatuurverloop aangeven.
 - a Teken alleen de grafiek die het beste past bij het afkoelen van het water in je schrift over. Zet daarbij ook nog getallen langs de temperatuur-as.
 - b Als je bij een tweede proef méér water in hetzelfde bekglas laat afkoelen krijg je een andere grafiek als uitkomst. Teken in het diagram in je schrift hoe het temperatuurverloop ongeveer zal zijn als er $2\times$ zo veel water van 80°C in het bekglas zit.



5 (Examen mavo-D, 1981)

Om de soortelijke warmte van twee verschillende metalen met elkaar te vergelijken, doet iemand de volgende proef.

Hij neemt twee blokjes, één van koper en één van aluminium. Hij verwarmt de twee blokjes gedurende enige tijd in kokend water.

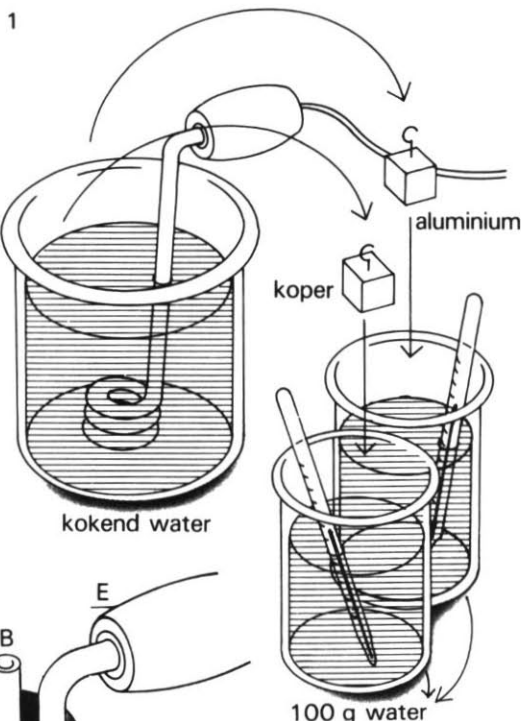
Daarna worden de blokjes er één voor één uitgehaald, snel afgedroogd en snel ieder in een apart bekeerglas gedaan (zie afbeelding 1).

In elk van de bekeerglazen bevindt zich 100 g water van 20 °C.

De temperatuur van de omgeving is ook 20 °C. In ieder bekeerglas meet hij de hoogste temperatuur die het water bereikt nadat de blokjes erin gedaan zijn.

Bovendien bepaalt hij van elk blokje de massa. Van zijn waarnemingen maakt hij een tabel.

	massa (g)	begintemp. (°C)	hoogste temp. (°C)
koper	75	20	24
aluminium	25	20	23



a In de tekst staat met nadruk vermeld: 'hij verwarmt de twee blokjes gedurende enige tijd in kokend water.'

Verklaar waarom het belangrijk is dit bij deze proef te doen.

b De soortelijke warmte van water is 4,2 J/g K

Bereken de hoeveelheid warmte die 100 g water nodig heeft om van 20 °C tot 23 °C te stijgen.

c Bereken hoeveel graden de temperatuur van het water ongeveer zou zijn gestegen als men de proef met een koperen blokje van 25 g had gedaan, in plaats van met een blokje van 75 g.

d De soortelijke warmte van koper is:

- groter dan
 - kleiner dan
 - gelijk aan
- de soortelijke warmte van aluminium. Beredeneer wat het juiste antwoord is.

6 (Herexamen mavo-D, 1982)

Een leerling heeft tijdens het practicum de opstelling van afbeelding 2 voor zich staan. De geïsoleerde kolffles is gevuld met 1000 g water en afgesloten met een kurk.

Door de kurk heen steken een verwarmingselement E, een thermometer T, en een open buis B.

Op de thermometer lezen we als begintemperatuur 8 °C af.

Het verwarmingselement E wordt nu ingeschakeld. Na enige tijd gaat het water koken. Door het gehele water ontstaan dan bellen die omhoog gaan.

a Waaruit bestaan die bellen?

Hieronder is een aantal fysische gegevens (afgerond) vermeld.

dichtheid water : 1000 kg/m³

stolpunt water : 273 K

kookpunt water : 373 K

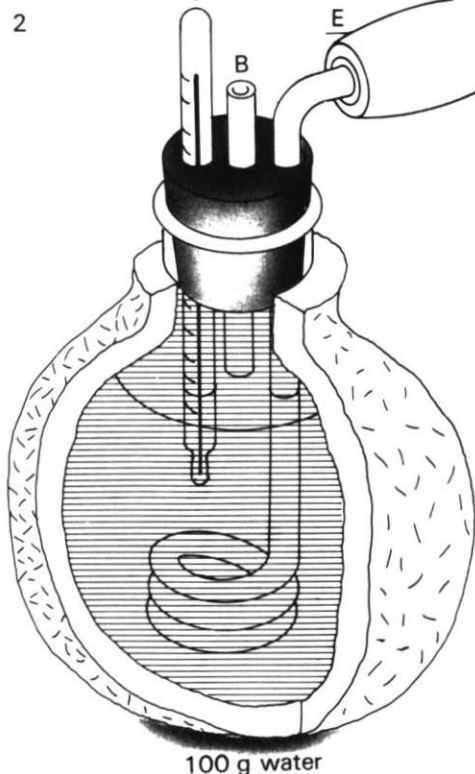
soortelijke

warmte water : 4200 J/kg K

soortelijke

warmte glas : 840 J/kg K

b Bepaal hoeveel warmte nodig is om alleen 1000 g water van 8 °C aan de kook te brengen.

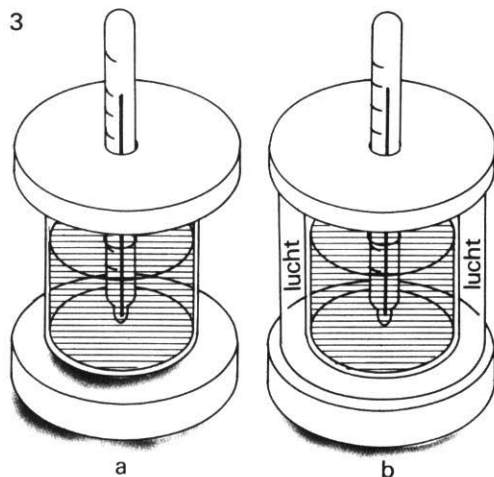
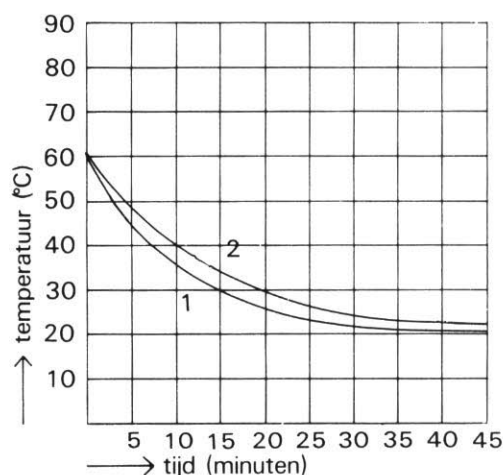


- c Tijdens het verwarmen levert het verwarmingselement 18610 J méér dan het water nodig heeft om aan de kook te komen. De leerling gaat er van uit dat dit warmteoverschot door het glas is opgenomen. De massa van het glas is 225 g . Hij berekent nu de soortelijke warmte van het glas.
Bereken de waarde die de leerling vindt voor de soortelijke warmte van glas. (Op één decimaal nauwkeurig.)
- d De uitkomst die bij onderdeel c gevonden is, wijkt af van het gegeven in de tabel. Bereken, uitgaande van de soortelijke warmte van glas volgens de tabel, hoeveel warmte het glas opgenomen heeft.
- e Waar is de rest van de 18610 J naar toegegaan?
- f Tijdens de proef begint ergens op de buis B condensvorming op te treden. Deze vorming is het sterkst op
- het deel boven de kurk en wel aan de buitenzijde
 - het deel onder de kurk en wel aan de binnenzijde
 - het deel boven de kurk en wel aan de binnenzijde
 - het deel onder de kurk en wel aan de buitenzijde
- Kies het juiste antwoord en licht je keuze toe.

- 7 Iemand vult twee gelijke bekeerglazen met even veel water van 60°C . Eén van de beide glazen plaatst hij in een groter bekeerglas, zodat er om het glas met water een afgesloten laag lucht zit (bekerglas b in afbeelding 3).

Hij meet om de minuut de temperatuur in elk glas. In het diagram zijn zijn metingen verwerkt.

- a Beredeneer welke van de grafieken 1 of 2 het temperatuurverloop in glas a weergeeft.
- b Na hoeveel minuten is de temperatuur in geval 1 15°C gedaald?
- c Hoe groot is het temperatuurverschil tussen 1 en 2 na 15 minuten?
- d Geef een voorbeeld hoe men, met de kennis van het resultaat van bovenstaande proef, warmteverlies van huizen kleiner maakt.



spiegels en terugkaatsing		36
activiteit 1	spiegelbeelden	36
theorie	terugkaatsingswet	36
opdrachten		36
activiteit 2	de plaats van het spiegelbeeld	37
theorie	de plaats van het spiegelbeeld	37
opdracht		38
activiteit 3	terugkaatsing, diffuus en spiegelend	38
theorie	terugkaatsing, diffuus en spiegelend	38
breking		40
activiteit 4	breking meten	40
theorie	breking	40
opdrachten		41
lenzen		42
theorie	beeldvorming	42
opdrachten		44

Spiegelbeelden activiteit 1

Wat je nodig hebt

- + spiegels
- + enkele voorwerpen

Uitvoering

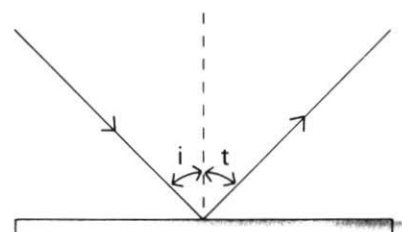
- 1 Plaats een voorwerp zó voor een spiegel, dat je het spiegelbeeld kunt zien.
- 2 Bekijk de relatie die er bestaat tussen het originele voorwerp en het spiegelbeeld ervan.
Schrijf de bijzonderheden op over:
 - de afstanden van beide tot de vlakke spiegel
 - de grootte van beide
 - de 'links-rechts'-oriëntatie van beide (bekijk daarvoor ook eens het spiegelbeeld van jezelf)
 - de 'boven-beneden'-oriëntatie van beide

- 3 Probeer de loop van een lichtstraal na te gaan, die van het voorwerp uitgaande, via de spiegel jouw oog bereikt.
- 4 Kun je een vlakke spiegel zó plaatsen, dat de 'boven-beneden'-oriëntatie verandert? (Dus zodat je de dingen ondersteboven ziet?)
- 5 Probeer met behulp van twee vlakke spiegels een spiegelbeeld van een spiegelbeeld te bekijken. Hoe zit het daarbij met de 'links-rechts'-oriëntatie?

Terugkaatsingswet theorie

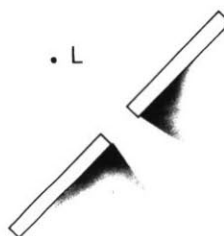
Valt er een lichtstraal (een lichtstraal is eigenlijk een hele smalle lichtbundel) op een vlakke spiegel, dan geldt: de hoek van inval is even groot als de hoek van terugkaatsing ($\angle i = \angle t$).

Hierbij is de hoek van inval, de hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal (de loodlijn op het spiegelvlak). De hoek van terugkaatsing is de hoek tussen de teruggekaatste lichtstraal en de normaal.

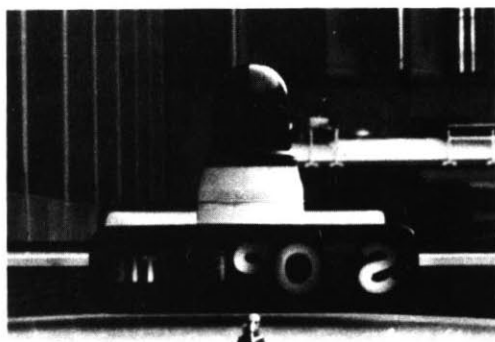


opdrachten

- 1 *Tegenwoordig hebben auto's van de politie, de brandweer en het ziekenhuis vaak hun naam in spiegelschrift op de voorkant staan. Dan kan een automobilist die vóór hen rijdt het opschrift in zijn achteruitkijkspiegel lezen. Probeer zelf de woorden: brandweer en ambulance in spiegelschrift te schrijven. Controleer het dan door er via een spiegel naar te kijken.*
- 2 *Op de vlakke spiegel valt een lichtbundel uit de lamp. Neem de afbeelding in je schrift over en construeer de teruggekaatste bundel.*



spiegel



De plaats van het spiegelbeeld activiteit 2

Wat je nodig hebt

- + stuk spiegelen glas (geen spiegel)
- + enkele witte en zwarte damstenen
- + vel papier
- + statiefmateriaal

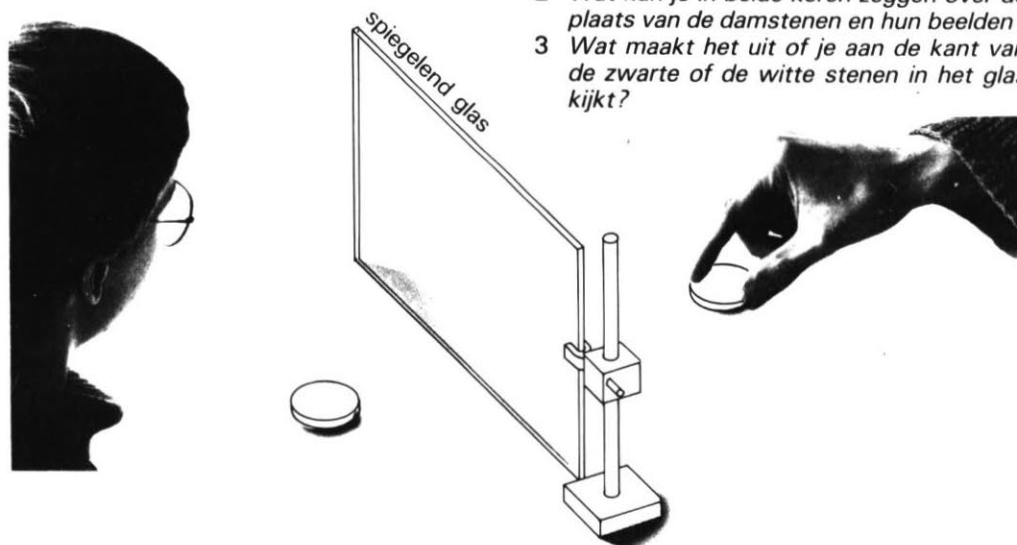
WAT JE WETEN MOET

De witte damstenen gebruik je als voorwerp, de zwarte stenen gebruik je als hun beelden.

Uitvoering Proef 1

- 1 Zet het stuk glas rechtop op het vel papier. Gebruik zo nodig het statiefmateriaal.
- 2 Zet een witte damsteen aan jouw kant van het glas.
- 3 Kijk in het glas naar het beeld van de steen. Schuif ondertussen een zwarte steen achter het glas tot je hem ziet

Opstelling



samenvallen met het beeld van de witte steen.

- 4 Leg nog twee witte stenen, voor het glas en leg daarna weer zwarte stenen op de plaats waar je hun beeld ziet.
- 5 Kijk van boven op de opstelling en beschrijf wat je ziet.

Vraag

- 1 Wat kun je zeggen over de afstanden van de stenen tot het glas?

Uitvoering Proef 2

- 1 Ga weer aan de kant van de witte stenen zitten. Beweeg je hoofd van links naar rechts en van hoog naar laag terwijl je in het glas kijkt.
- 2 Ga aan de kant van de zwarte stenen zitten. Herhaal de bewegingen van punt 1.

Vragen

- 2 Wat kun je in beide keren zeggen over de plaats van de damstenen en hun beelden?
- 3 Wat maakt het uit of je aan de kant van de zwarte of de witte stenen in het glas kijkt?

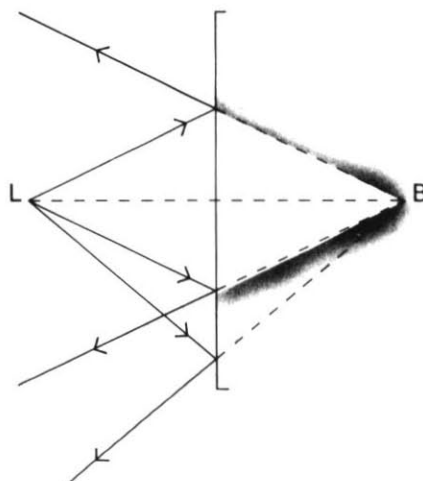
De plaats van het spiegelbeeld theorie

Staat voor een vlakke spiegel een lampje L, dan valt op de spiegel een divergerende lichtbundel.

Elke lichtstraal van de teruggekaatste lichtbundel is te construeren volgens $\angle i = \angle t$. De teruggekaatste lichtbundel is weer divergerend.

Het snijpunt van de teruggekaatste lichtstralen ligt achter de spiegel. Het snijpunt B van de teruggekaatste stralen is het beeld van het lampje L. Het beeld is niet echt. De teruggekaatste stralen komen schijnbaar uit punt B. Het beeld is virtueel.

De afstand van het lampje L tot de spiegel is precies even groot als de afstand van het virtuele beeld B tot de spiegel. L en B zijn gespiegeld.



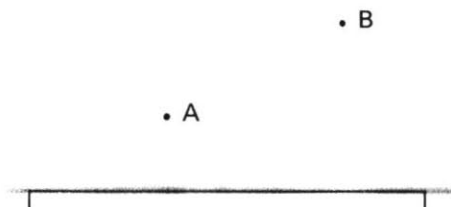
Er bestaan ook reële (echte) beelden. Dat herinner je je misschien nog uit de derde klas. Reële beelden komen in dit boek aan bod bij de bolle lens.

opdracht

De personen A en B staan voor een vlakke spiegel. De afbeelding geeft het bovenaanzicht van de situatie weer.

A kan B in de spiegel zien.

Teken de lichtstraal vanuit B, die via de spiegel naar A gaat.



Terugkaatsing, diffuus en spiegellend activiteit 3

Wat je nodig hebt

- + verduisterde ruimte
- + diaprojector of zaklantaarn
- + stuk zwart papier
- + stuk wit papier
- + spiegel

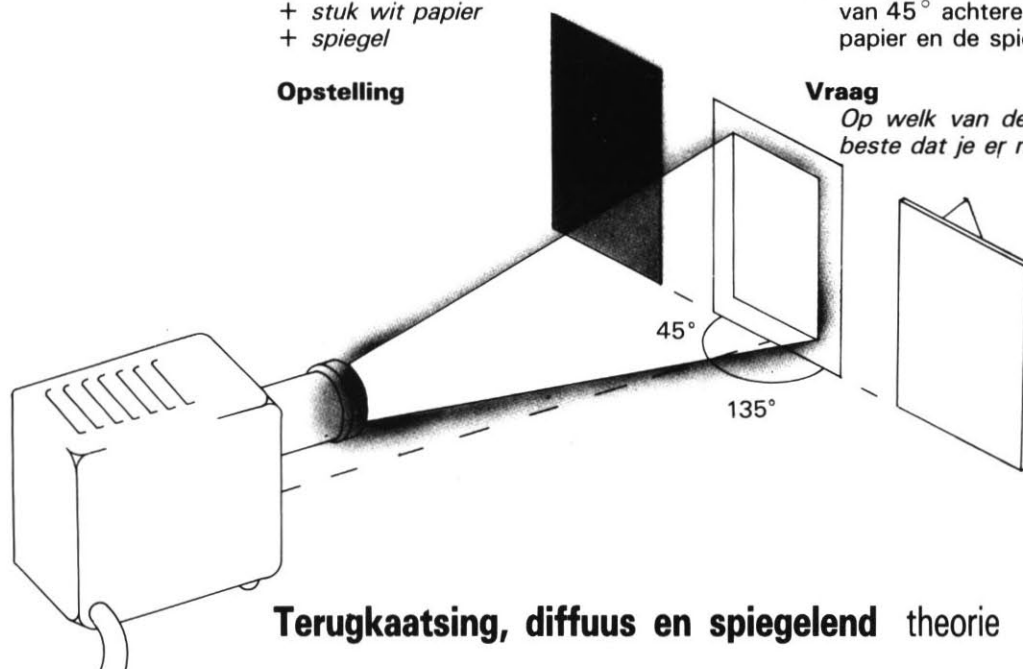
Opstelling

Uitvoering

- 1 Zet de spiegel, het stuk zwart en het stuk wit papier verticaal tegen de muur.
- 2 Schijn met de lichtbron onder een hoek van 45° achtereenvolgens op de stukken papier en de spiegel.

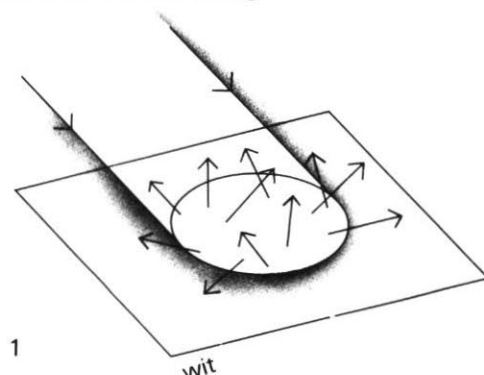
Vraag

Op welk van de drie vlakken zie je het beste dat je er met licht op schijnt?

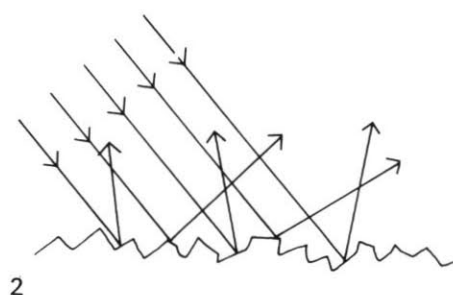


Terugkaatsing, diffuus en spiegellend theorie

Als licht op een wit of licht gekleurd vlak valt, dan is dat goed te zien. Veel van het licht komt blijkbaar in je oog terecht, waar je je ook bevindt. Zie afbeelding 1.



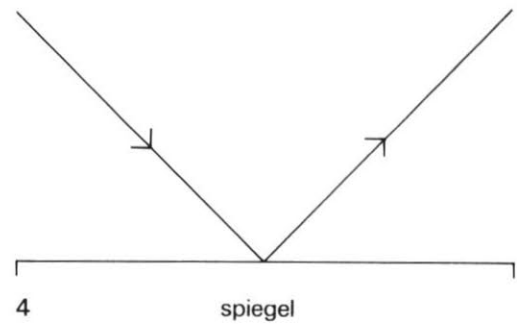
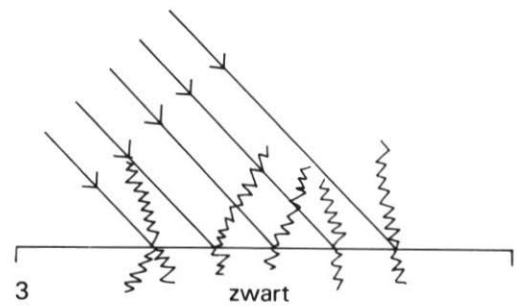
Hoe het kan dat het licht in zoveel richtingen terug wordt gekaatst kan duidelijk worden als je naar afbeelding 2 kijkt. Dat is een vergrote tekening van een gedeelte uit afbeelding 1.



Een zwart of donkergekleurd voorwerp kaatst niet veel licht terug, doordat veel van het licht, dat er op valt, verandert in warmtestraling. Het licht wordt 'verdonkeremaand', zie afbeelding 3.

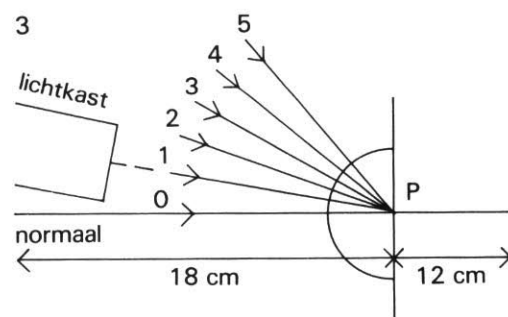
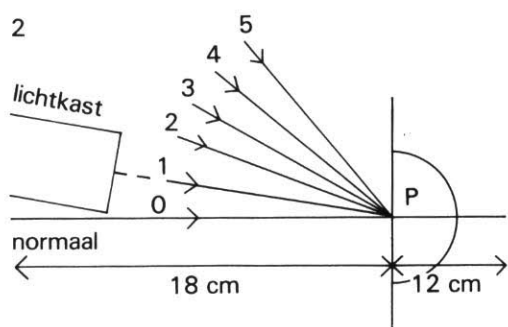
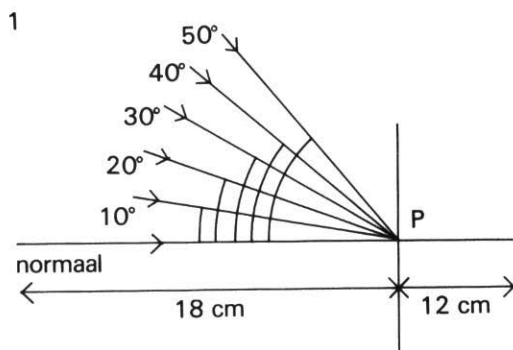
Uit ervaring en uit warmteproeven weet je misschien wel, dat donkergekleurde voorwerpen sneller warm worden als je ze in de zon zet, dan lichtgekleurde dingen.

Dat je aan een spiegel slecht kunt zien of er licht opvalt, heeft je misschien verbaasd, maar dat is wel in overeenstemming met wat je in dit hoofdstuk al over spiegels hebt uitgezocht en hopelijk begrepen. De lichtstralen van de lichtbron kunnen alleen maar in je oog komen als je dáár gaat staan waar het licht heen gekaatst wordt. En waar dat is, kun je afleiden uit de terugkaatsingwet.



Breking meten activiteit 4

Opstelling



Wat je nodig hebt

- + lichtkastje
- + diafragma met één spleet
- + halve cilinder van perspex
- + vel wit papier A4-formaat
- + geodriehoek

Uitvoering Proef 1

- 1 Maak op het vel papier een tekening zoals afbeelding 1.
 - 2 Plaats dan de halve cilinder op het blad, zodat de normaal midden onder het blok doorloopt.
 - 3 Zet het lichtkastje zó, dat de lichtstraal over pijl 0 lopend de cilinder treft.
 - 4 Zet aan de bolle kant een stip achter de cilinder op de plaats waar de lichtstraal weer uit de cilinder komt.
 - 5 Haal de cilinder weg en teken hoe de lichtstraal na P verder liep.
 - 6 Plaats de cilinder weer terug. Zet het kastje zó, dat de lichtstraal over pijl 1 lopend de cilinder treft.
 - 7 Geef aan waar de lichtstraal uit de cilinder komt, haal het blok weg, teken de lichtstraal.
- Herhaal deze handeling ook voor de pijlen 2, 3, 4 en 5.

Uitvoering Proef 2

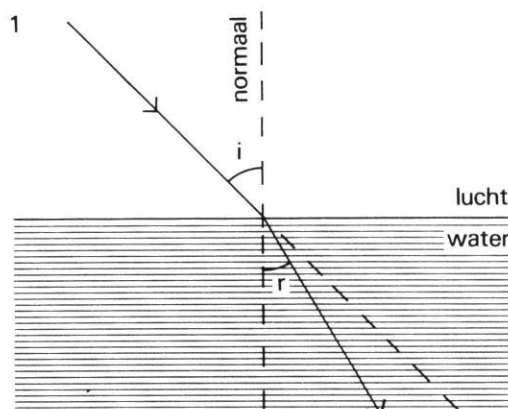
Deze is geheel gelijk aan uitvoering proef 1, alleen de cilinder wordt nu aan de andere kant van de lijn gezet. Daardoor zie je nu hoe de lichtstraal wordt gebroken als hij van perspex naar lucht gaat.

Breking theorie

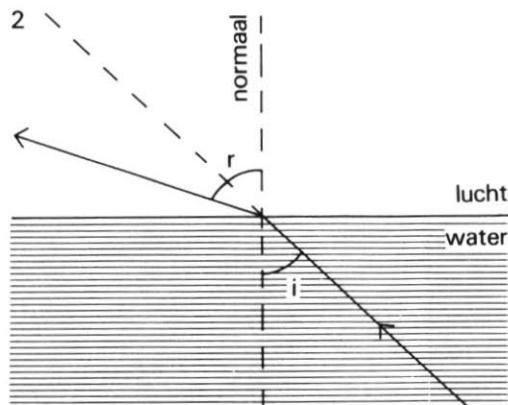
Als een lichtstraal op een of andere doorschijnende stof valt, dan wordt de lichtstraal geknikt op de grens van lucht en die andere stof. Dat verschijnsel noemen we breking. In afbeelding 1 is een brekende lichtstraal getekend. Als de lichtstraal niet was gebroken, zou hij verder hebben gelopen volgens de stippellijn.

De hoek die de gebroken lichtstraal in werkelijkheid met de normaal maakt, de hoek van breking ($\angle r$), is kleiner dan $\angle i$. Daarom zeggen we dat de lichtstraal naar de normaal toe gebroken is.

Het omgekeerde kan ook gebeuren. Als een lichtstraal uit het water komt, bijv. bij het potlood in het water.



Als de lichtstraal niet gebroken was, zou hij verder gelopen hebben volgens de stippellijn, zie afbeelding 2.



De hoek die de gebroken lichtstraal nu maakt met de normaal is groter dan de hoek van inval. Daarom zeggen we dat de lichtstraal van de normaal afgebroken is.

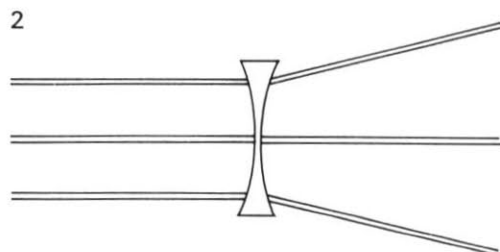
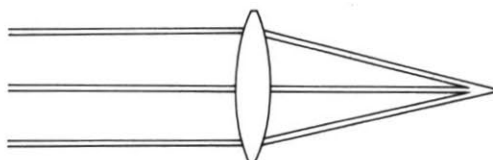
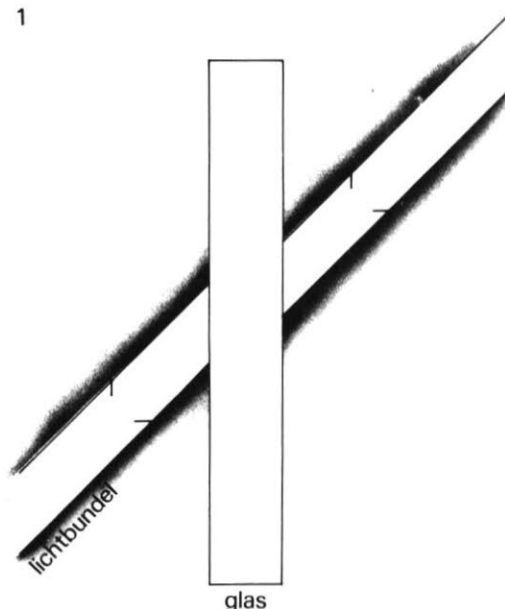
Dat knikken (breken) van de lichtstraal komt doordat de voortplantingssnelheid van licht niet in alle stoffen gelijk is. Het grootst is die snelheid in vacuüm en het kleinst in diamant. Stoffen waarin licht zich snel voortplant, noemen we optisch ijle stoffen. De stoffen waarin de voortplantingssnelheid kleiner is, noemen we optisch dichte stoffen.

In het kolommetje hieronder staan enkele lichtdoorlatende stoffen gerangschikt volgens hun optische dichtheid. Als een lichtstraal van lucht (ijl) terecht komt in water (dicht) dan breekt hij naar de normaal toe. Gaat hij van perspex (dicht) naar water (ijler) dan breekt hij van de normaal af.

lucht (warm)
lucht (koud)
ijs
water (warm)
water (koud)
keukenzoutoplossing
perspex
glas
keukenzout
diamant

opdrachten

- 1 De Indianen in de Amazone vissen met pijl en boog. Uit ervaring weten ze dat ze een vis altijd missen als ze precies schieten in de richting waarin ze hem zien. Leg uit hoe dit komt. Maak een tekening bij je uitleg. Geef in jouw tekening aan, in welke richting ze wél moeten schieten.
- 2 Een evenwijdige lichtbundel valt op een recht stuk glas. Als de bundel eruit komt, is die verschoven, zie afbeelding 1.
 - a Teken de bundel in het glas.
 - b Op welke plaatsen treedt de breking op?
 - c Waar treedt breking op, naar de normaal toe?
Waar treedt breking op, van de normaal af?
- 3 Op welke plaatsen treedt in afbeelding 2 breking op?
Aanwijzing: leg je liniaal langs de invallende bundel!



Beeldvorming theorie

Waar komt het beeld?

Waar het beeld door een lens gevormd wordt, is afhankelijk van de plaats van het voorwerp.

Hoe dichterbij het voorwerp bij de bolle lens staat, hoe verder van de lens het beeld gevormd wordt.

En andersom: hoe verder het voorwerp van de bolle lens staat, hoe dichterbij het beeld bij de lens komt.

Als je het scherm op beeldafstand van de lens staat, zie je een scherpe afbeelding. Zet je een scherm op een andere afstand, dan wordt het wazig of onscherp.

Als je het voorwerp steeds verder van de lens plaatst, hoef je op het laatste het scherm niet meer te verplaatsen om het beeld te krijgen. De plaats waar dan het beeld komt heet het brandpunt van de lens.

Waar komt de naam brandpunt vandaan? Je hebt misschien wel eens met een brandglas gespeeld. Zo'n brandglas is een lens. Als daar zonlicht op valt, wordt er een beeld van de zon gemaakt, waarmee je bijvoorbeeld een stukje papier in brand kunt steken. De zon is ver verwijderd. Het beeld komt dus in het brandpunt. Vandaar de naam.

In de bovenstaande gevallen wordt het beeld gevormd door een convergente lichtbundel. Het beeld is echt, reëel.

Het brandpunt van een bepaalde lens is een vast punt. Het beeld van een voorwerp kan

op allerlei plaatsen gevormd worden. Het komt alleen in het brandpunt als het voorwerp ver weg is. In andere gevallen komt het beeld niet in het brandpunt (afb. 1).

Als je het voorwerp op brandpuntsafstand van de lens zet, wordt het beeld erg ver gevormd. Hoe ver? (afb. 2)

Als een lamp dichterbij de lens staat dan de brandpuntsafstand, dan is er geen beeld. De bundels die dan uit de lens komen, zijn divergent maar minder divergent dan voor de lens. Doordat de gebroken lichtbundel divergent is, snijden de lichtstralen elkaar niet echt. Wel snijden de gebroken lichtstralen elkaar als ze in achterwaartse richting worden verlengd (stippelen!).

Het beeld B is niet echt, het beeld is virtueel (afb. 3).

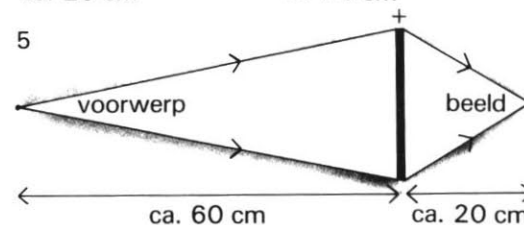
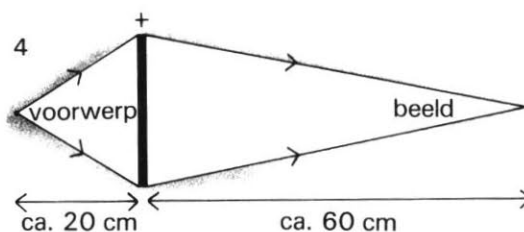
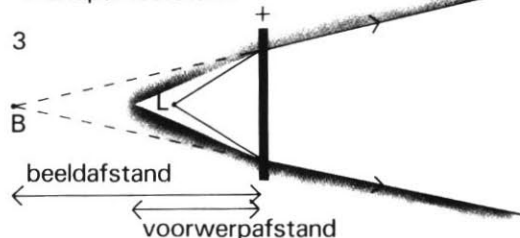
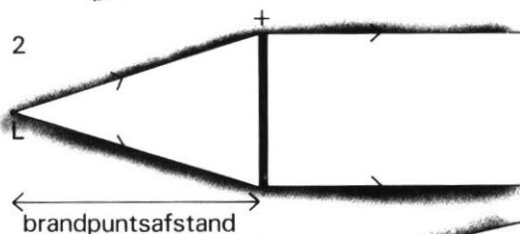
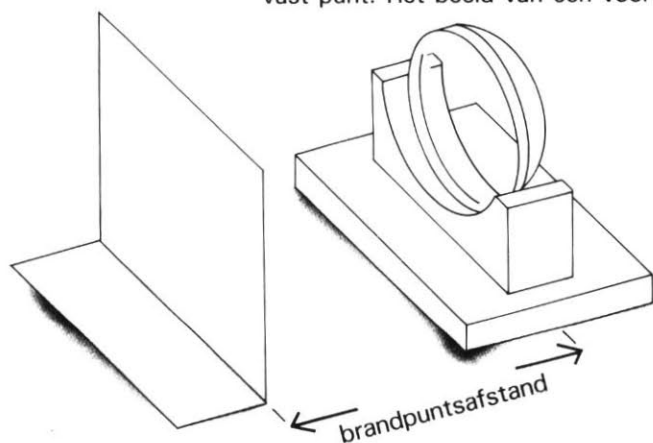
Omdat een bolle lens lichtstralen naar elkaar toe breekt, zeggen we dat de bolle lens een convergerende werking heeft.

Een holle lens breekt lichtstralen van elkaar af. Dat noemen we een divergerende werking.

Afbeeldingen 4 en 5 laten zien dat de voorwerpsafstand en beeldafstand verwisselbaar zijn. Probeer dit eens in je eigen woorden te zeggen.

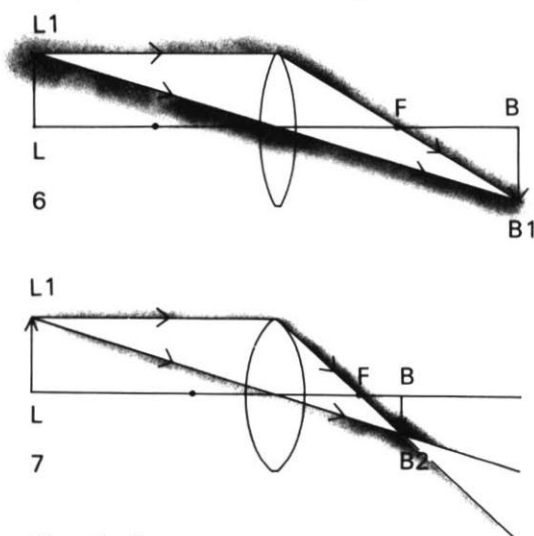


1



Rekenen aan afstanden

De plaats waar het beeld van een voorwerp gevormd wordt, is ook afhankelijk van de brandpuntsafstand van de lens. Hoe boller de lens, hoe dichter het beeld bij de lens komt.

**Conclusie**

Je ziet dat de plaats van het beeld afhangt van de voorwerpsafstand (v) en de brandpuntsafstand (f). Bij berekeningen kun je de volgende formule gebruiken:

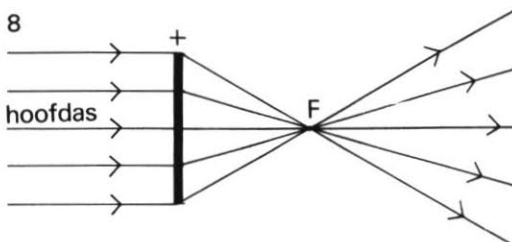
$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Komt uit de berekening dat b een negatieve waarde heeft, dan is het beeld virtueel. Dat zal gebeuren als de voorwerpsafstand kleiner is dan de brandpuntsafstand.

Dat is het geval bij het gebruiken van een lens als vergrootglas.

Met behulp van een tekening kun je nagaan waar het beeld van een voorwerp gevormd wordt. Je kunt ook de grootte van het beeld met zo'n tekening bepalen.

Om de tekening te kunnen maken moet je het brandpunt van de lens weten. In afbeelding 8 zie je een evenwijdige lichtbundel getekend, opgesplitst in 5 bundeltjes. De lens convergeert de bundeltjes in één punt. Omdat de bundel evenwijdig is, gaat hij na de lens door het brandpunt. Het brandpunt ligt op de hoofdas. Dat is een lijn loodrecht op de lens, door het midden van de lens. In afbeelding 8 is de invallende bundel evenwijdig aan de hoofdas.

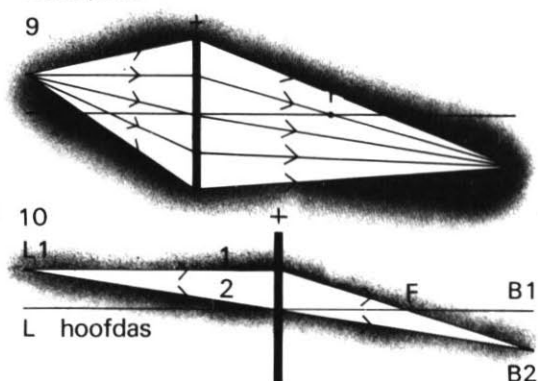


In afbeelding 9 valt er een divergente bundel op de lens.

In afbeelding 9 zie je hoe een bundel van een voorwerp (lampje) door de lens wordt gecon-

vergeerd. Van de bundel zijn 5 stralen aangegeven.

Met behulp van deze afbeeldingen kun je voorspellen hoe in afbeelding 10 de straal (1) na de lens verder gaat. Hij gaat door het brandpunt.

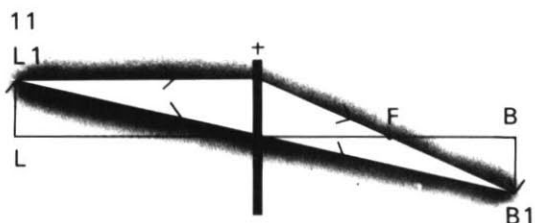


Straal 2, door het midden van de lens, gaat rechtdoor.

Je weet nu hoe je van een klein voorwerp (L) het beeld (B) kunt vinden.

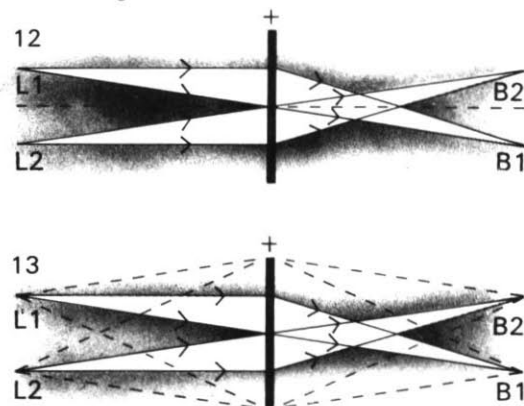
In afbeelding 11 zie je hoe het bij een groter voorwerp (LL') gaat.

Je tekent met behulp van de twee bijzondere lichtstralen vanuit de top van het voorwerp, het beeld van die top. De pijl, loodrecht op de hoofdas, geeft je het gehele beeld, BB'.



In afb. 12 is nog eens hetzelfde gedaan voor een voorwerp dat aan beide zijden van de hoofdas uitsteekt. Als je niet alleen de bijzondere bundeltjes tekent, maar de gehele bundel die tot de beeldvorming bijdraagt, dan krijg je afbeelding 13.

Uit deze afbeeldingen kun je zien dat het beeld omgekeerd is.

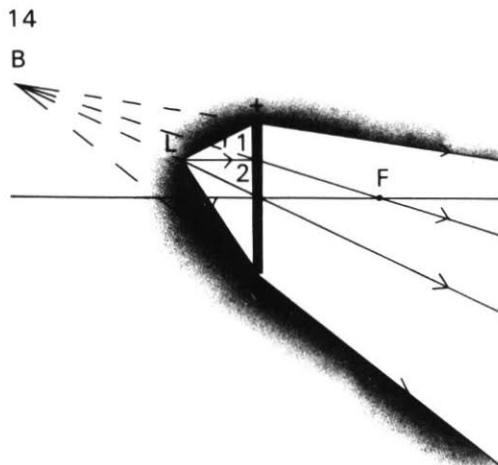


Als het voorwerp dichter bij de lens staat dan het brandpunt, is het tekenen van het beeld wat lastiger. Straal 1 en straal 2 kunnen ge-

woon getekend worden, zie afb. 14, maar ze zullen elkaar nooit snijden. De bundel die door de lens gevormd wordt, blijft divergent. Dus ontstaat er ook geen beeld van L, tenminste geen reëel beeld.

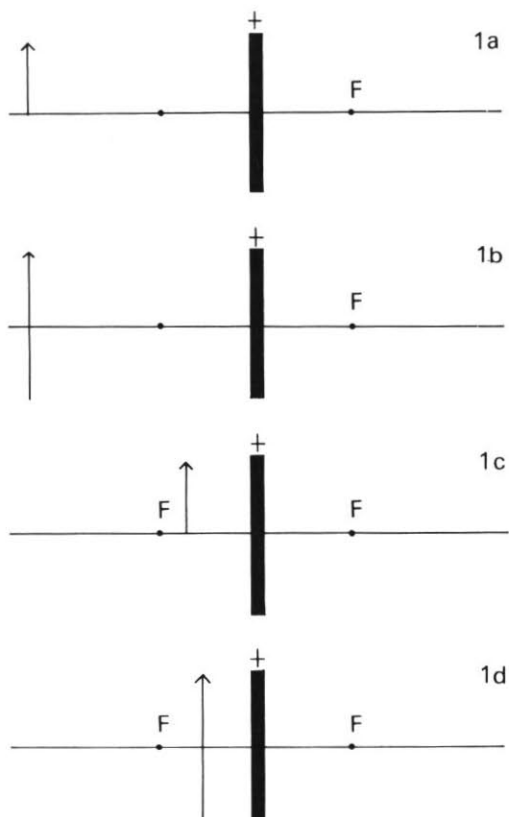
Voor iemand die tegen de richting van de lichtstralen in door de lens kijkt, lijkt de bundel niet uit L te komen maar uit B, daar bevindt zich het virtuele beeld van L, vergroot en verder weg. Zie afbeelding 14.

In een tekening kun je punt B vinden door de gebroken lichtstralen door te trekken aan de andere kant van de lens.



opdrachten

- 1 Iemand maakt in de klas met een lens een afbeelding van het raam op de muur. Daarna houdt hij zijn hand op de onderste helft van de lens. Voorspel wat er zal gebeuren met het beeld op de muur en geef de redenen voor je voorspelling. Maak er een tekening bij en teken de bundel (uit één punt) die bijdraagt tot de beeldvorming.
- 2 André krijgt een lens, met de opdracht: 'Onderzoek, aan de hand van een experiment of de lens negatief of positief is.' Beschrijf, eventueel met behulp van een tekening, wat voor experiment hij kan uitvoeren.
- 3 Neem de tekeningen van afbeelding 1 over. En construeer steeds het beeld van de pijl.

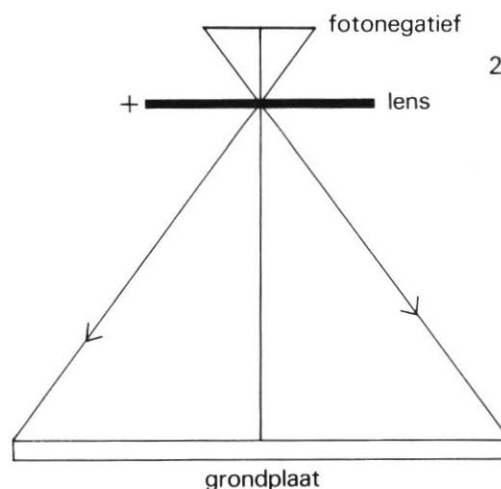


- 4 (Herexamen mavo 1981)

Een vergrotingsapparaat wordt gebruikt om van kleine foto-negatieven grotere foto's te kunnen maken.

In zo'n vergrotingsapparaat bevindt zich een bolle lens. Van een verlicht foto-negatief (het voorwerp), ontstaat een vergroot scherp beeld op een grondplaat (zie afbeelding 2, deze afbeelding is niet op schaal).

- a Bij een beeldafstand van 66 cm ontstaat een scherp beeld waarvan de lineaire vergroting 11 bedraagt. Bereken de voorwerpsafstand.
- b De fotograaf wil van hetzelfde foto-negatief een grotere foto maken. Hiertoe vergroot hij de afstand van de lens tot de grondplaat tot 80 cm. Het beeld is nu niet meer scherp. Beredeneer of hij de voorwerpsafstand groter of kleiner moet maken om weer een scherp beeld op de grondplaat te laten ontstaan.



Hoofdstuk 5

Vaste stoffen, vloeistoffen en gassen

45

dichtheid		46
theorie	dichtheid	46
opdrachten		46
theorie	dichtheid, temperatuur en moleculen	47
opdrachten		48
wet van Archimedes		49
theorie	inleiding	49
activiteit 1	blijven drijven	49
activiteit 2	nu ligt het op de bodem	50
activiteit 3	opwaartse kracht	50
theorie	drijven en zinken	51
opdrachten		53
gaswetten		55
theorie	Boyle	55
theorie	de eerste wet van Gay Lussac	55
activiteit 4	de tweede wet van Gay Lussac	56
theorie	de tweede wet van Gay Lussac	57
theorie	algemene gaswet	58
opdrachten		58
kleine deeltjes		60
theorie	eigenschappen van moleculen	60
theorie	enkele verschijnselen verklaard	60
kracht en druk		63
theorie	druk	63
opdracht		63
activiteit 5	hydrostatische druk	64
theorie	hydrostatische druk	64
opdrachten		66
activiteit 6	hoofdwet van de hydrostatica	66
theorie	hydrostatische hoofdwet	67
theorie	wet van Pascal	68
theorie	de druk van lucht	69
opdrachten		70

Dichtheid theorie

Je kunt de dichtheid van een stof berekenen met de formule:

$$\text{dichtheid} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

of

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

Hierin is:

m in kg of g

V in dm³ of cm³

ρ in kg/dm³ of g/cm³

Voor een aantal stoffen is hier de dichtheid in een tabel vermeld.

Dichtheid

	kg/dm ³ = g/cm ³		kg/dm ³ = g/cm ³
alcohol	0,8	kurk	0,25
aluminium	2,7	lood	11,4
benzine	0,7	melk	1,03
beton	2,4	olijfolie	0,9
beukehout	0,7	platina	21,5
diamant	3,5	tin	7,3
glas	2,5	vurehout	0,5
glycerine	1,3	water	1,0
goud	19,3	ijs	0,9
koper	8,9	ijzer	7,9
kwik	13,6	zeewater	1,03
		zilver	10,5
		zink	7,2

Als de dichtheid van een stof bekend is, kan je de massa van elk gegeven volume van die stof berekenen.

Hiervoor wordt de formule voor de dichtheid omgezet in:

$$m = \rho \cdot V$$

Hierin is:

ρ in kg/dm³

V in dm³

m in kg

De zwaartekracht (F_z) op een bepaalde massa is de massa van die stof (m) vermenigvuldigd

met de versnelling van de zwaartekracht (g).

Dus:

$$F_z = m \times g$$

Hierin is:

m in kg

F_z in N

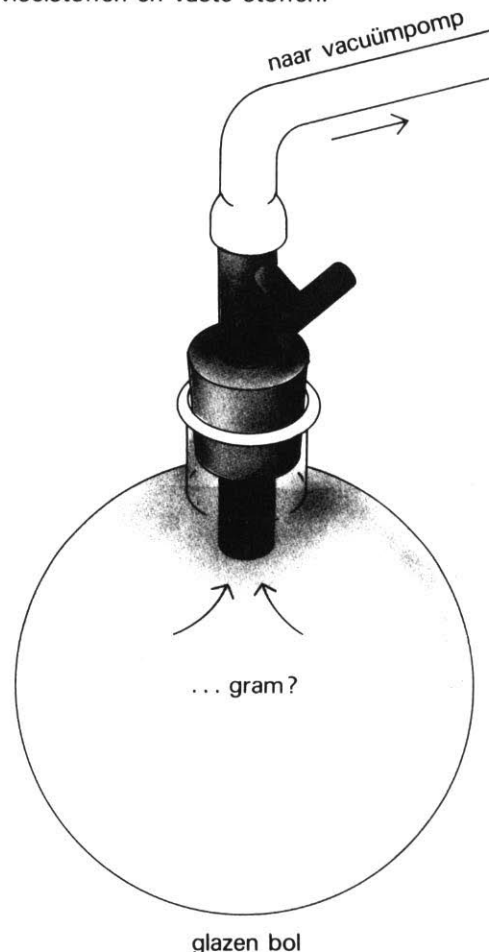
$g = 9,8 \text{ m/s}^2$, meestal afgerond tot

10 m/s^2

Dichtheid van gassen

Ook gassen hebben massa en dus een dichtheid. De dichtheid van lucht zou je kunnen meten. Een glazen bol met een volume van 1 dm³, die door een kraan luchtdicht kan worden afgesloten, wordt leeggepompt met de vacuümpomp en dan wordt de massa bepaald.

Dan wordt de kraan geopend en wordt van de fles opnieuw de massa gemeten. Dat maakt ongeveer 1,3 gram verschil. Dat is dus veroorzaakt door het al of niet aanwezig zijn van lucht in de fles. Uit deze proef kun je afleiden dat lucht een dichtheid heeft van ongeveer 1,3 g/dm³. Dat is erg weinig vergeleken met vloeistoffen en vaste stoffen.



opdrachten

- 1 Een constructiebedrijf, dat al heel wat tankwagens heeft gebouwd voor het transport van melk, wil nu ook een model maken dat geschikt is voor benzine. Daartoe moeten er wellicht veranderingen aangebracht worden in het oorspronkelijke model. Eén van de dingen die men zich afvraagt is of het onderstel zwaarder gemaakt moet worden, of dat het misschien wat lichter

kan, terwijl de grootte van de tank gelijk blijft.

Wat is volgens jou goed, zwaarder of lichter? Waarom denk je dat?

- 2 Je vader heeft voordelig een partij beukehout kunnen kopen voor de open haard. Maar hij moet het wel zelf komen halen. Hij heeft daarom een busje gehuurd. Dat heeft een laadvermogen van 1000 kg, met een laadruimte van 6 m³. In totaal wil je vader 4 m³ hout vervoeren.

- a Hoeveel dm³ is 4 m³?
b Hij kan de hele hoeveelheid hout niet in één keer meenemen. Waarom niet?
c Hoeveel dm³ hout kan hij in één keer inladen?

- 3 Een stuk hout heeft een volume van 2 dm³ en een gewicht van 16 N.

- a Hoe groot is de massa van dit hout?
b Hoe groot is de dichtheid van dit hout?

- 4 3 dm³ van een metaal heeft een massa van 34,2 kg.

- a Hoe groot is de dichtheid van dit metaal?
b Welke metaalsoort zou dit kunnen zijn? Kijk in de tabel.

- c Hoe groot is het gewicht van dit metaal?

- 5 Reken de massa uit van de lucht in het natuurkundelokaal. Voor de eenvoud kun je doen alsof er geen meubels en mensen in het lokaal zijn.

- 6 Grote ballons, waarmee men reizen kan, worden gevuld met een licht gas, helium of waterstofgas.

Hoe groot is de massa van helium in een ballon, die een volume heeft van 1200 m³?

$$\rho_{\text{helium}} = 0,18 \text{ g/dm}^3.$$

Dichtheid, temperatuur en moleculen theorie

Hoe kan het eigenlijk, dat de dichtheid van vloeistoffen en gassen verandert als de temperatuur lager of hoger wordt?

Om je dat een beetje voor te kunnen stellen is het nodig dat je in je herinnering het beeld oproept van die hele kleine deeltjes waar alle stoffen uit opgebouwd zijn. Van die kleine deeltjes, de moleculen van die stof, weet je dat ze altijd in beweging zijn en dat de snelheid van die beweging verandert als de temperatuur van de stof verandert. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, hoe groter de (gemiddelde) snelheid is van de moleculen waar dat voorwerp uit opgebouwd is.

Je kunt begrijpen dat als twee moleculen met grote snelheid tegen elkaar botsen, dat ze daarna verder uit elkaar zullen gaan, dan wanneer hun snelheid niet zo groot was geweest. Al die botsingen bij elkaar tussen al die miljarden moleculen zorgen er samen voor, dat al die moleculen een heel klein stukje verder van elkaar komen te zitten en dat daardoor een voorwerp, of een hoeveelheid vloeistof of gas groter wordt zonder dat het aantal deeltjes waar het uit bestaat toeneemt. Zo'n uitzetende stof wordt dus wel groter, maar de massa ervan blijft gelijk.

Met de formule $\rho = \frac{m}{V}$, kan je zien dat bij temperatuurstijging de dichtheid kleiner wordt.

Want m blijft gelijk en V wordt groter, dus de breuk (ρ) wordt kleiner.

Dichtheid van water

Bij water doet zich iets heel merkwaardigs voor. Als water afkoelt, wordt de dichtheid net als bij andere stoffen steeds groter. Maar als de temperatuur onder de 4 °C daalt neemt de dichtheid weer af.

Je kunt dit niet verklaren door alleen te letten op de afnemende snelheid van de moleculen, want dan zou de dichtheid, net als bij de

meeste andere stoffen groter moeten worden. Er speelt zich in het water iets heel apart af. Door de afgenomen snelheid van de watermoleculen wordt een bepaalde eigenaardigheid in de aantrekking tussen de watermoleculen merkbaar. Daardoor gaan de moleculen zich in een bepaald patroon rangschik-



ken. Dat patroon vraagt als geheel meer ruimte. Deze eigenschap is zeer belangrijk voor alles wat in de sloten en plassen leeft. Op de bodem van die wateren verzamelt zich het water met de grootste dichtheid, dat is het water met een temperatuur van 4 °C. Koelt het water boven nog verder af, dan zal dat niet naar de bodem kunnen zakken. Daardoor kunnen veel waterdieren en -planten overwinteren, zonder gevaar te lopen in de winter te bevriezen en af te sterven.

Bijna altijd wordt het volume groter bij de faseovergangen van vast naar vloeibaar en van vloeibaar naar gas. Omdat het volume groter wordt, wordt de

dichtheid kleiner.

Denk maar aan de formule, $\rho = \frac{m}{V}$.

Want m blijft gelijk en V wordt groter, dus de breuk (ρ) wordt kleiner.

Alleen water zorgt bij de faseovergang van vast naar vloeibaar voor een uitzondering. Bij deze faseovergang wordt juist bij water het volume kleiner en de dichtheid groter. Water heeft hierdoor een grotere dichtheid dan ijs. Het ijs zal dan ook op water drijven.

Dit merkwaardige gedrag van water heeft tot gevolg, dat wij met droge voeten kunnen schaatsen. Bij elke andere stof zou de vaste aggregatietoestand immers naar de bodem zakken.

opdrachten

- 1 *In een diepvriesvak van een koelkast bevindt zich vaak een bakje waarin men ijsblokjes maakt. Welke vorm heeft het oppervlak van deze ijsblokjes? Verklaar dit.*
- 2 *André zegt: 'Vast lood drijft op vloeibaar lood.' Vanessa zegt: 'Vast lood zinkt in vloeibaar lood.' Wat zeg jij?*
- 3 *Zoek in de tabel de dichtheid van water en ijs op.*
 - a *Karel smelt 18 gram ijs. Hij krijgt dan ... gram water.*
 - b *18 gram ijs heeft een volume van ... cm³. Laat zien hoe je dit berekent.*
 - c *Het smeltwater van deze 18 gram ijs heeft een volume van ... cm³.*

Inleiding theorie

De duwkracht van een vloeistof omhoog noemen we de opwaartse kracht.

De opwaartse kracht kan zo groot zijn, dat voorwerpen in een vloeistof drijven.

Het voorwerp (bijv. een schip) wordt dan geheel door de vloeistof gedragen.

Het zgn. 'schijnbaar gewicht' van dit voorwerp of schip is dan gelijk aan nul.

Waar hangt de grootte van de opwaartse kracht vanaf?

Je weet dat een vol schip diep in het water ligt. Hetzelfde lege schip steekt hoog boven het water uit.

Volle schepen duwen meer water op zij, ze nemen meer ruimte onder water in.

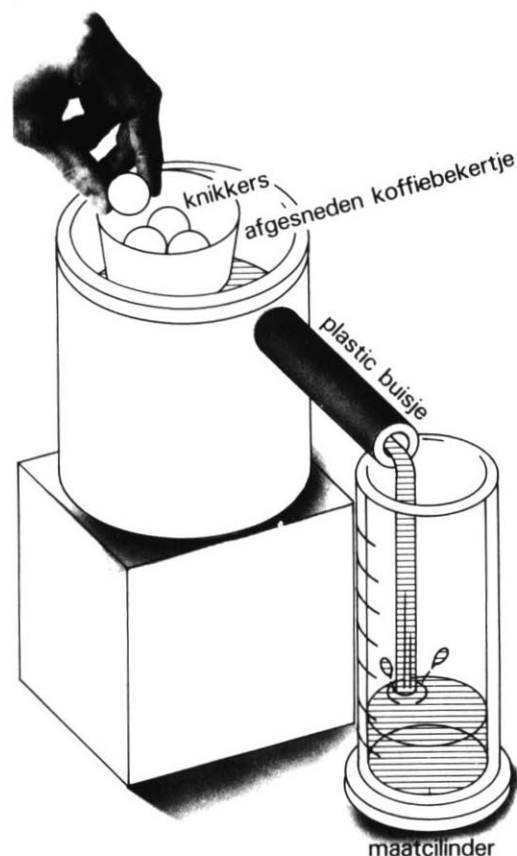
In de volgende leerlingenactiviteiten gaan we de grootte van de opwaartse kracht en het volume van de verplaatste vloeistof onderzoeken.

Blijven drijven activiteit 1

Wat je nodig hebt

- + een afgeknipt koffiebekertje
- + een afloopvat of een zelfgemaakt afloopblik
- + knikkers
- + een maatcilinder
- + afwasmiddel
- + water
- + balans

Opstelling



WAT JE WETEN MOET

Als schip gebruik je een afgeknipt koffiebekertje. Je zet dat in een afloopblik waarin het water tot aan het buisje moet staan. Als je je schip (je afgeknipte bekertje) nu gaat laden, zakt het dieper in het water. Daardoor loopt er een beetje water uit het buisje. Dat vang je op in een maatcilinder. Zo meet je, hoeveel water er door het laden van het schip verplaatst wordt.

Door een druppel afwasmiddel in het water te doen kan het water makkelijker uit het afloopblik lopen.

Uitvoering

- 1 Vul het afloopblik precies tot het buisje met water.
- 2 Laat het bekertje op het water drijven en doe er voorzichtig knikkers in.
- 3 Meet hoeveel cm^3 water uit het blik is gestroomd.
- 4 Bepaal de massa van het (droge) bekertje met de knikkers.
- 5 Vul de tabel in.

Vraag

De vloeistof draagt (via het bekertje) de knikkers volledig.

Schrijf je conclusie van deze proef nu op. Als een voorwerp 'volledig' door een vloeistof gedragen wordt (dus drijft) is het gewicht van de verplaatste vloeistof groter dan/kleiner dan/gelijk aan het gewicht van het drijvende voorwerp.

Neem deze zin over en kies het juiste antwoord.

massa bekertje en knikkers (kg)	gewicht bekertje en knikkers (N)	uitgestroomd water (cm^3)	massa (kg) en gewicht (N) van het uitgestroomde water

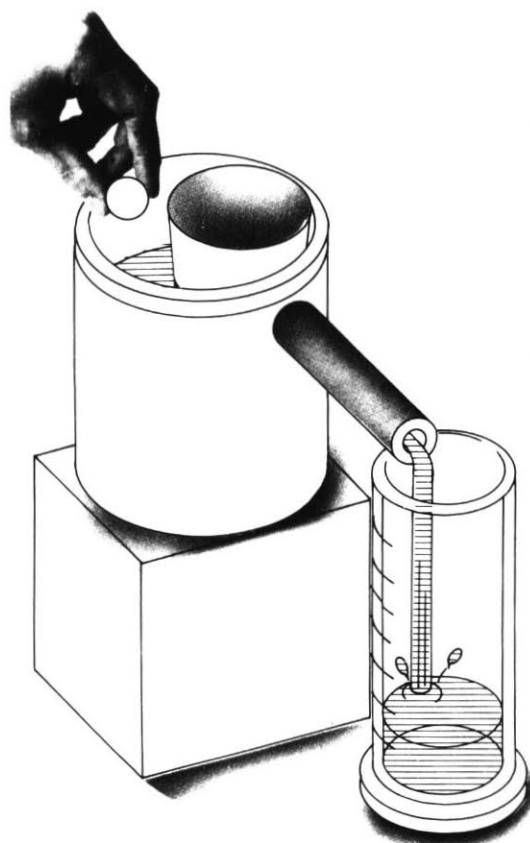
Nu ligt het op de bodem activiteit 2

Wat je nodig hebt

+ hetzelfde als bij

activiteit 1

Opstelling



Uitvoering

- 1 Vul het afloopblik weer precies tot het buisje met water.
- 2 Laat het bekertje op het water drijven.
- 3 Laat nu evenveel knikkers als bij activiteit 1 in het afloopblik zakken (voorzichtig!).
- 4 Meet hoeveel cm^3 water uit het afloopblik is gestroomd.
- 5 Bepaal (als je het nog niet weet) de massa van het (droge) bekertje en de knikkers.
- 6 Vul de tabel in.

Vragen

- 1 Is bij deze proef evenveel of meer of minder water uit het afloopblik gestroomd als bij activiteit 1?
- 2 Worden de knikkers in dit geval volledig door de vloeistof gedragen? Of oefent de bodem van het blik ook een draagkracht uit?
Schrijf je mening duidelijk op.
- 3 Als een voorwerp gezonken is, is het gewicht van de verplaatste vloeistof groter dan/kleiner dan/gelijk aan het gewicht van het voorwerp. Neem deze zin in zijn geheel over en kies het juiste antwoord.

massa bekertje en knikkers (kg)	gewicht bekertje en knikkers (N)	uitgestroomd water (cm^3)	massa (kg) en gewicht (N) van het uitgestroomde water

Opwaartse kracht activiteit 3

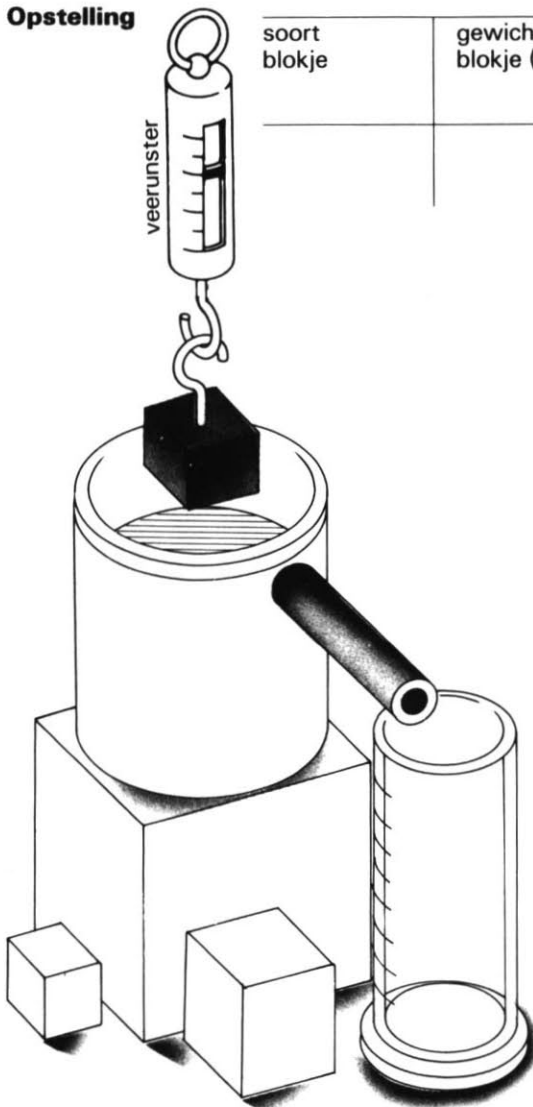
Wat je nodig hebt

- + blokjes van verschillend gewicht en volume
- + veerunster (newtonmeter)
- + afloopblik
- + maatcilinder
- + water

WAT JE WETEN MOET

Je kan deze proef ook uitvoeren zonder afloopblik. Dan laat je de blokjes in de maatcilinder zakken.

Opstelling



soort blokje	gewicht blokje (N)	schijnbaar gewicht (N)	volume blokje (cm ³)	gewicht verplaatste vloeistof (N)	opwaartse kracht (N)

Uitvoering

- 1 Bepaal het gewicht van het blokje.
- 2 Vul het afloopvat precies tot het buisje.
- 3 Laat het blokje geheel in het water van het afloopvat hangen.
- 4 Bepaal het schijnbaar gewicht van het blokje.
- 5 Meet hoeveel water door het blokje is verplaatst.
- 6 Doe de metingen 1 t/m 5 ook met de andere blokjes.
- 7 Vul de tabel in.

Opmerking

Ook in deze activiteit (net zoals in activiteit 2) zou het blokje zinken. Het rust nu echter niet op de bodem, maar hangt aan de veerunster.

Vragen

- 1 Van een zinkend voorwerp is het gewicht van de verplaatste vloeistof ... dan het gewicht van het voorwerp.
- 2 Welke conclusie kan je opschrijven wat betreft het gewicht van de verplaatste vloeistof en de opwaartse kracht? Schrijf die conclusie op.

Drijven en zinken theorie

Als je in activiteit 3 goed gekeken hebt, heb je gezien dat een blokje, ondergedompeld in de vloeistof, de veerunster minder uitrekt dan wanneer het erboven hangt. De vloeistof oefent een kracht uit op het voorwerp, de opwaartse kracht.

Heb je gezien dat de voorwerpen net zoveel lichter worden als het gewicht van de verplaatste vloeistof?

Lang geleden is dit ook ontdekt door de Griek Archimedes (ca. 250 v.C.). We noemen dit de Wet van Archimedes.

De Wet van Archimedes luidt:

Een voorwerp dat in een vloeistof is ondergedompeld ondervindt een opwaartse kracht die even groot is als het gewicht van de verplaatste vloeistof.

De opwaartse kracht (F_{opw}) kun je berekenen door het gewicht van de verplaatste vloeistof (G_v) uit te rekenen. Dit gaat als volgt.

$$F_{opw} = G_v$$

$$G_v = V \times \rho \times g$$

Hierin is:

V is het volume van de verplaatste vloeistof
 ρ is de dichtheid van de verplaatste vloeistof
g is de zwaartekrachtversnelling en is ongeveer 10 m/s²

Drijven

Als een voorwerp in vloeistof blijft drijven, gaat de Wet van Archimedes ook op (bijv. een schip en een stuk hout in water).

Dit kun je als volgt inzien:

1 dm³ hout is lichter dan 1 dm³ water, dat betekent dat als je het blokje helemaal onder-

dompelt in water dan is het gewicht van de verplaatste vloeistof (de opwaartse kracht) groter dan het gewicht van het hout.

Als je het blokje loslaat, duwt de opwaartse kracht het blokje boven het vloeistofniveau. Het stuk hout komt dan gedeeltelijk boven de vloeistof uit, daardoor wordt de opwaartse kracht kleiner.

G is even groot gebleven, maar F_{opw} is kleiner geworden, doordat er minder vloeistof wordt verplaatst.

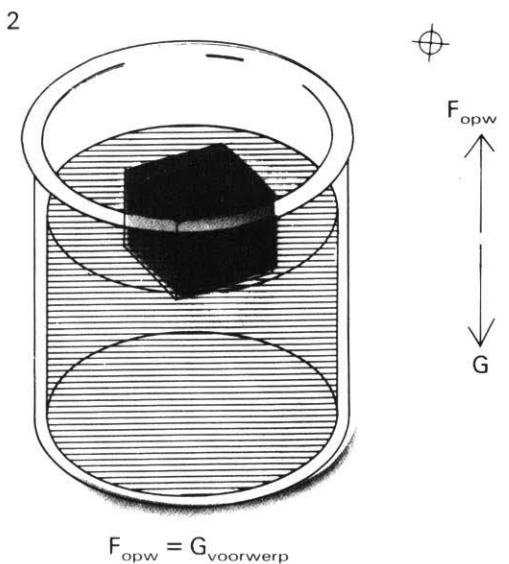
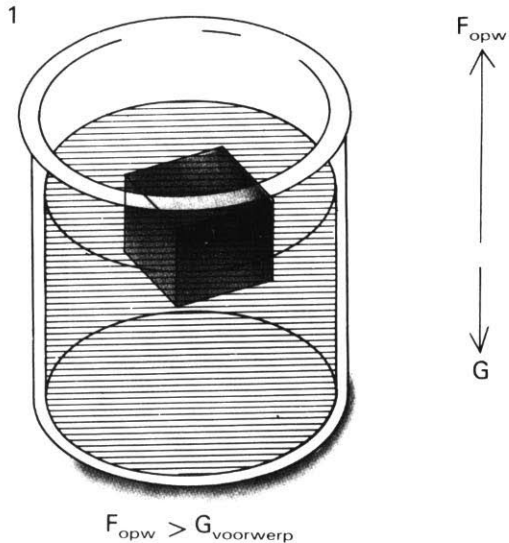
Dit verschijnsel (drijven) doet zich voor bij stoffen die een kleinere dichtheid hebben dan de vloeistof waarin je ze onderdompelt.

Bij drijven geldt:

$$F_{\text{opw}} = G_{\text{voorwerp}}$$

$$G_{\text{vloeistof}} = G_{\text{voorwerp}}$$

waarbij het volume van het voorwerp groter is dan het volume van de verplaatste vloeistof.



Zweven

Als de dichtheid van het voorwerp even groot is als de dichtheid van de vloeistof, dan zweeft de vaste stof in de vloeistof.

Ook vissen en onderzeeboten kunnen zweven.

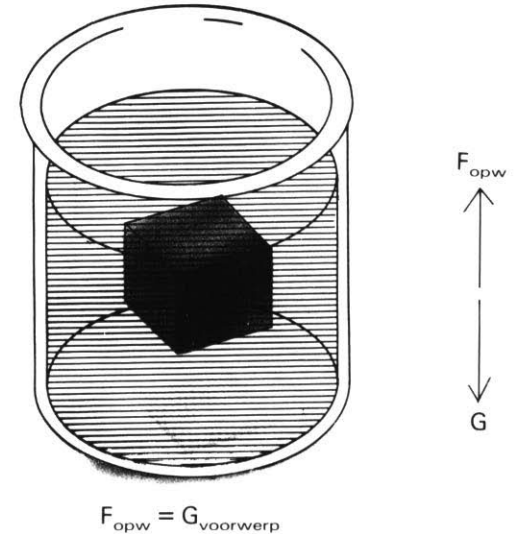
Hier geldt:

$$F_{\text{opw}} = G_{\text{voorwerp}}$$

$$G_{\text{vloeistof}} = G_{\text{voorwerp}}$$

waarbij het volume van het voorwerp even groot is als het volume van de verplaatste vloeistof.

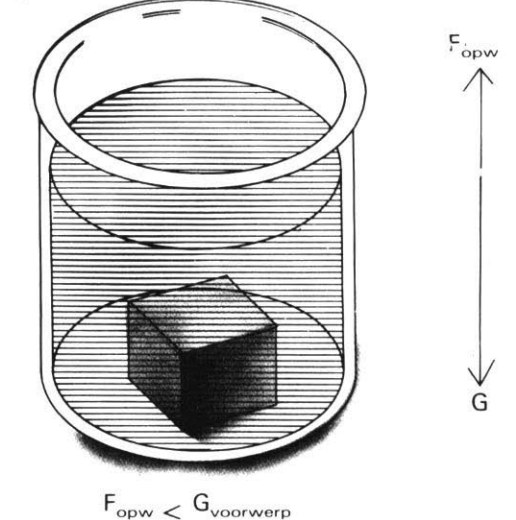
3



Zinken

Als de dichtheid van het voorwerp groter is dan de dichtheid van de vloeistof, dan zinkt het voorwerp.

4



Wet van Archimedes voor gassen

De wet van Archimedes geldt ook voor gassen. Een lichaam ondervindt in een gas een opwaartse kracht, die gelijk is aan het gewicht van het verplaatste gas.

Een toepassing hiervan is o.a. de luchtballon. Er werken op de ballon twee krachten:

- 1 het gewicht van de ballon, mandje enz.
- 2 de opwaartse kracht, die gelijk is aan het gewicht van de verplaatste hoeveelheid lucht.



Het verschil tussen 1 en 2 is de stijgkracht. Bij het hoger komen verandert kracht 1 nauwelijks, maar kracht 2 wel. De lucht heeft namelijk op grotere hoogte een kleinere dichtheid.

opdrachten

- 1 Een blok aluminium met een volume van $2,5 \text{ dm}^3$ is volledig ondergedompeld in water. Water heeft een dichtheid van 1 kg/dm^3 .

- a Bereken de opwaartse kracht die dit blok ondervindt.
- b Bereken het gewicht van het blok aluminium als je weet dat de dichtheid van aluminium $2,7 \text{ kg/dm}^3$ is.
- c Bereken het schijnbaar gewicht van het blok aluminium in water.

- 2 Een blok metaal heeft een gewicht van 600 N . Het gewicht in alcohol is 520 N . Dichtheid alcohol is $0,8 \text{ kg/dm}^3$.

- a Bereken de opwaartse kracht.
- b Bereken het volume van de verplaatste alcohol (volume van het blok).
- c Bereken de dichtheid van het metaal.

- 3 Een stuk hout drijft in water. Het volume van het hout is 5 dm^3 . 80% van het hout bevindt zich onder water.

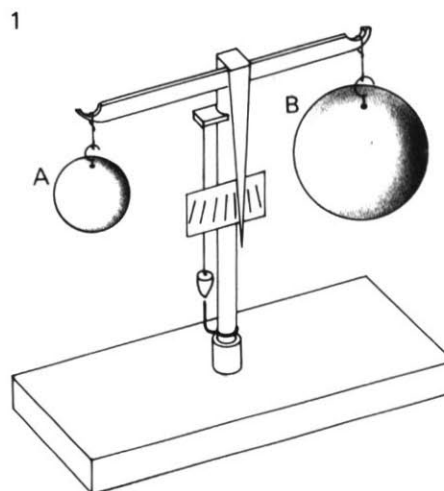
- a Bereken het aantal dm^3 onder water.
- b Bereken de opwaartse kracht die het hout ondervindt.
- c Bereken het gewicht van het hout.

- 4 IJzer in water zinkt.
Een ijzeren boot in water drijft. 'Dit komt,' zegt Willem Jan, 'omdat er lucht in zit.'

- a Is deze uitspraak juist?
Is iets waar lucht in zit dan lichter dan iets waar geen lucht in zit?
- b Wat denk jij?

- 5 (Eindexamen 1982 mavo-D)
Een balans wordt in evenwicht gehouden door de bollen A en B (zie afbeelding 1). Men plaatst het geheel onder een glazen stolp. De lucht onder deze stolp wordt weggezogen.

De balans raakt nu uit evenwicht. Beredeneer welke bol, A of B, zal dalen.



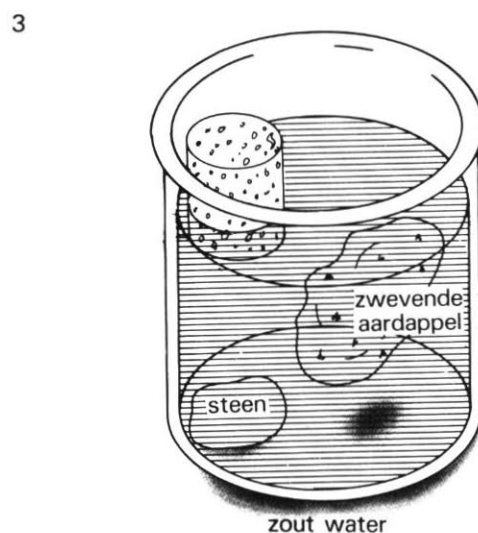
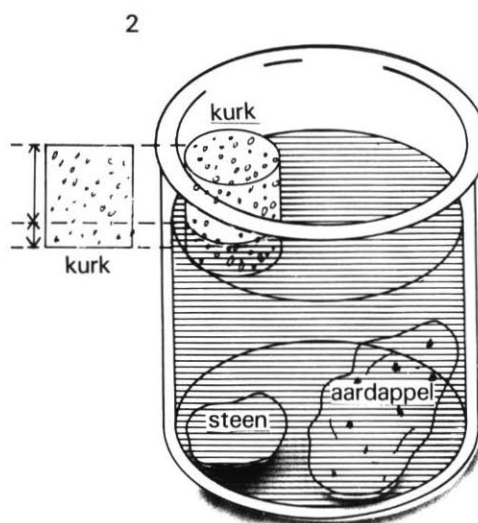
- 6 (Examen mavo-C, 1972)

Men brengt in een bak, die gedeeltelijk gevuld is met water, achtereenvolgens een kurk, een aardappel en een kleine steen. Het resultaat is weergegeven in afbeelding 2.

De kurk, de aardappel en de steen hebben elk een homogene samenstelling. De dichtheid van water is 1 kg/dm^3 .

- a Waaraan kan men zien dat de dichtheid van de kurk kleiner is dan de dichtheid van de aardappel?
- b Bepaal door meting welk deel van het volume van de kurk zich in afbeelding 2 onder

- water bevindt.
- c Hoe groot is de dichtheid van de kurk?
Daarna voegt men onder voortdurend roeren zo veel zout aan het water toe, dat de aardappel juist gaat zweven (zie afbeelding 3).
- d Uit de afbeeldingen 2 en 3 blijkt dat de dichtheid van de zoutoplossing
- groter is dan de dichtheid van het water.
 - kleiner is dan de dichtheid van het water.
 - gelijk is aan de dichtheid van het water.
- Kies het juiste antwoord en licht de keuze toe.
- e De steen ondervindt in het water een opwaartse kracht die
- groter is dan de opwaartse kracht in de zoutoplossing
 - kleiner is dan de opwaartse kracht in de zoutoplossing
 - gelijk is aan de opwaartse kracht in de zoutoplossing
- Kies het juiste antwoord en licht de keuze toe.
- f De kurk ondervindt in het water een opwaartse kracht die
- groter is dan de opwaartse kracht in de zoutoplossing
 - kleiner is dan de opwaartse kracht in de zoutoplossing
 - gelijk is aan de opwaartse kracht in de zoutoplossing
- Kies het juiste antwoord en licht de keuze toe.
- 7 Als je een luchtballon vult met heliumgas neemt het gewicht toe.
- a Waarom vult men een ballon dan met heliumgas?
- b Hoe werkt een heteluchtballon?



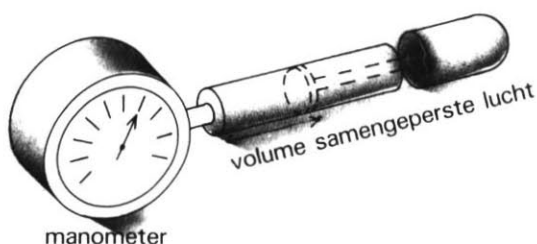
Boyle theorie

Als je op een fiets met goed opgepompte banden rijdt, vangen de banden voor een groot deel de schokken van steentjes en andere kleine oneffenheden in het wegdek op. Je profiteert van een prettige eigenschap van de lucht in de banden: de lucht is veerkrachtig. Daardoor kan een steentje makkelijk een deuk in de band duwen. Daarna duwt de lucht de band weer in zijn oude vorm terug. Je kent dat ook wel als je zelf in de band knijpt.

Gassen zijn dus samendrukbaar, dit in tegenstelling tot vaste stoffen en eigenlijk ook vloeistoffen.

In een afgesloten fietspomp kan je de lucht samenpersen door de ruimte die de lucht inneemt (het volume) te verkleinen.

Omgekeerd wordt de druk de helft als het volume verdubbelt.



Als je een gas samendrukt wordt het volume kleiner en de druk van het gas groter.

Het omgekeerde geldt ook: als een bepaalde hoeveelheid gas in een groter volume komt te zitten, neemt de druk af.

Hiervoor geldt een natuurkundige regel, die de Engelsman Boyle onder woorden heeft gebracht.

De Wet van Boyle luidt:

Voor een bepaalde hoeveelheid gas zijn druk (p) en volume (V) omgekeerd evenredig, mits de temperatuur gelijk blijft.

In formule:

$$p \times V = \text{constant}$$

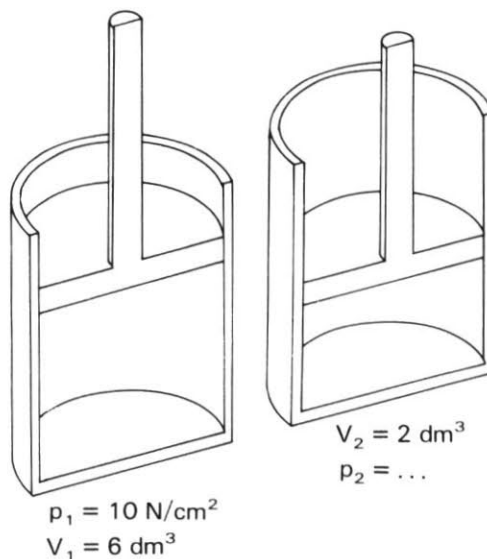
of

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

Voorbeeld

Een cilinder afgesloten door een zuiger heeft een volume van 6 dm^3 , de druk in de cilinder is 10 N/cm^2 .

Hoe groot wordt de druk als je de zuiger zo ver naar beneden drukt, dat het volume nog maar 2 dm^3 is?



Oplossing

$$p_1 = 10 \text{ N/cm}^2$$

$$V_1 = 6 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 2 \text{ dm}^3$$

$$p_2 = \dots$$

$$p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$$

Invullen levert:

$$10 \times 6 = p_2 \times 2$$

$$p_2 = \frac{10 \times 6}{2} = 30 \text{ N/cm}^2$$

De eerste wet van Gay Lussac theorie

Terwijl Boyle tijdens de experimenten met gassen de temperatuur (en de hoeveelheid gas) gelijk hield, veranderde de Fransman Gay Lussac juist wel de temperatuur tijdens de proeven met een bepaalde hoeveelheid gas. Hij deed twee series proeven.

Bij de ene serie hield hij (behalve de hoeveelheid gas) ook het volume van het gas even groot.

Bij de tweede serie proeven hield hij (behalve de hoeveelheid gas) ook de druk van het gas even groot.

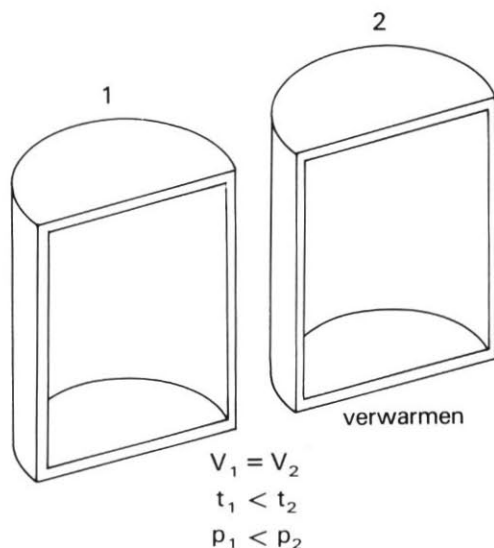
We gaan eerst bekijken wat de uitkomsten van de eerste serie proeven was.

Eerste wet van Gay Lussac

Zoals gezegd deed Gay Lussac deze proeven met een bepaalde hoeveelheid gas waarvan hij het volume even groot hield.

Bij temperatuurverhoging nam de druk van het gas toe.

Bij temperatuurverlaging nam de druk van het gas af.



Bij deze temperatuur zou de druk van het gas dus 0 zijn!

Deze temperatuur noemen wij het absolute nulpunt, of 0 kelvin (0 K).

Op de kelvintemperatuurschaal is nul graad Celsius gelijk aan 273 kelvin, of $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$

En $1^\circ\text{C} = 274\text{ K}$

Je moet dus 273 bij de schaal van celsius optellen om de temperatuur in kelvin te krijgen.

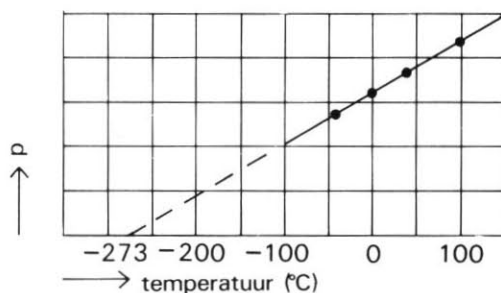
In formule wordt dit:

$T (\text{kelvin}) = 273 + t (\text{celsius})$.

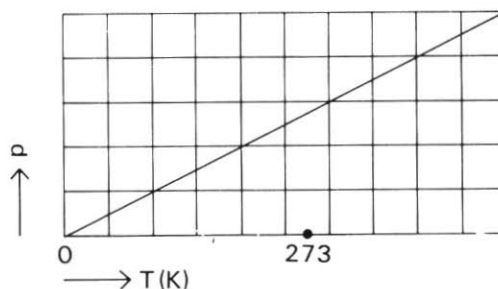
We gebruiken de hoofdletter T voor de temperatuur in kelvin en de kleine letter t voor de temperatuur in celsius.

Maken we nu een diagram van de druk van een gas, uitgezet tegen de temperatuur in kelvin, dan krijgen we:

Gay Lussac zette zijn waarnemingen in een diagram. Op de horizontale as zette hij de temperatuur (in $^\circ\text{C}$) uit, op de verticale as de druk. Hij vond:



Bij temperatuur onder 0°C werd de druk van het gas nog steeds lager. Verlengde hij de rechte lijn verder naar links, dan sneed deze lijn de horizontale as bij een temperatuur van -273°C .



De druk van een bepaalde hoeveelheid gas is recht evenredig met de temperatuur in kelvin, dus:

$$\frac{p}{T} = \text{constant, of: } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

(mits het volume en de hoeveelheid gas constant blijft).

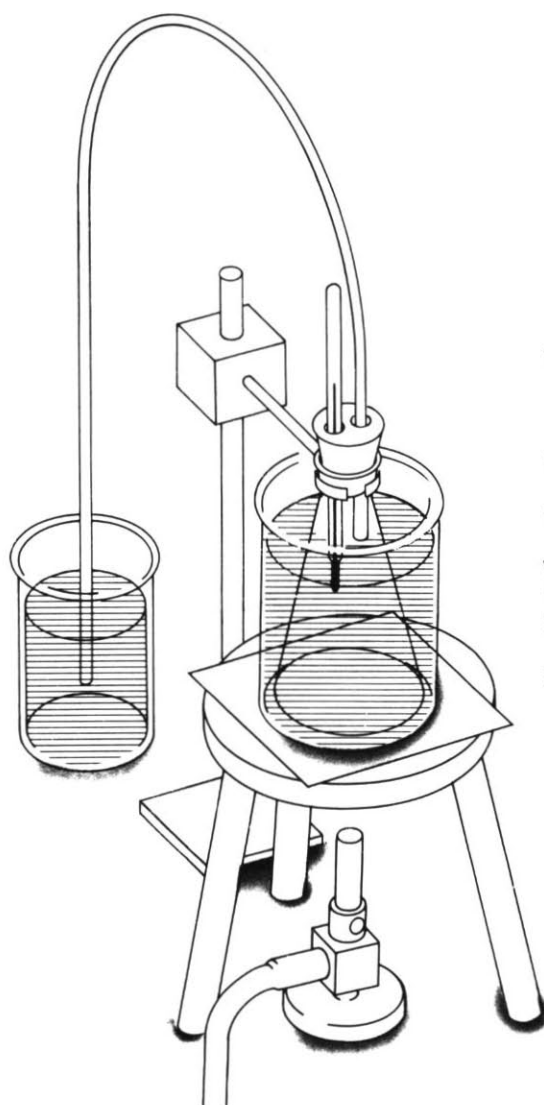
De tweede wet van Gay Lussac activiteit 4

Wat je nodig hebt

- + 2 erlenmeyers met stop en afvoer en slang
- + groot bekglas
- + thermometer
- + brander met driepoot
- + klein bekglas met water
- + maatcilinder

Uitvoering

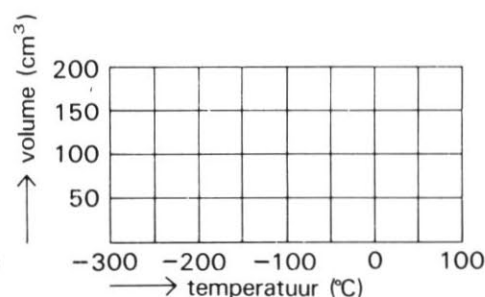
- 1 Maak de opstelling.
- 2 Verwarm het water in b tot koken.
- 3 Zet de (droge!) erlenmeyer (zie tekening) in het water.
- 4 Wacht tot de lucht uit a niet verder uitzet (hoe controleer je dat?) en meet de luchttemperatuur in de erlenmeyer (1e meting).



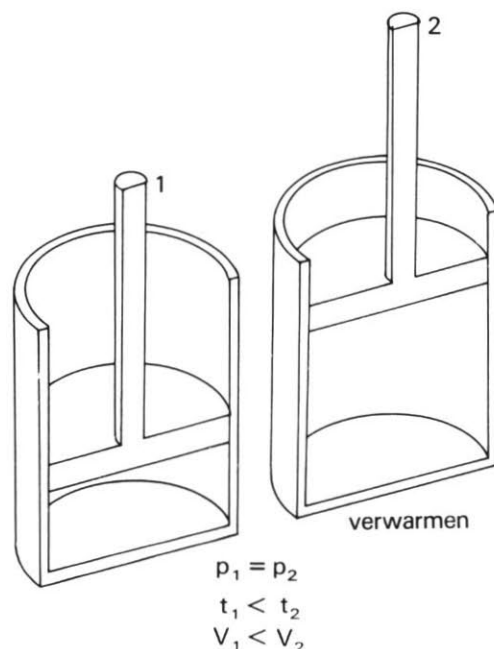
- 5 Plaats de erlenmeyer in koud water, terwijl opening c van de slang onder water blijft.
- 6 Wacht tot de lucht in de erlenmeyer niet verder krimpt en meet de temperatuur van deze lucht (2e meting).
- 7 Meet met een maatcilinder het volume van het naar binnen gestroomde water.
- 8 Bepaal het aantal cm^3 lucht bij de 1e meting en bij de 2e meting. Schrijf op hoe je dit doet.
- 9 Zet je metingen in een diagram.
- 10 Trek een rechte lijn door de twee gevonden punten. Verleng deze lijn naar links (de temperatuur is daar minder dan 0°C).
- 11 Herhaal de proef met een grotere of kleinere erlenmeyer.
- 12 Zet de metingen in hetzelfde diagram.

Vragen

- 1 Hoe is de druk constant gehouden?
- 2 Is de hoeveelheid gas bij de meting gelijk gebleven?
- 3 Bij welke temperatuur zou de lucht tot ongeveer $0,1 \text{ cm}^3$ ingekrompen zijn?



De tweede wet van Gay Lussac theorie



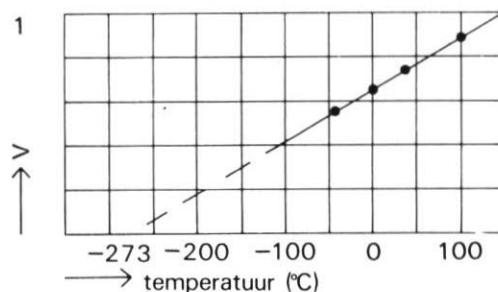
Bij de tweede serie proeven hield Gay Lussac (behalve de hoeveelheid gas) de druk van het gas gelijk.

Dit deed hij door het gas in een vat, afgesloten door een vrij beweegbare zuiger, te doen.

Bij temperatuurverhoging, steeg de zuiger een beetje, terwijl de druk op de afgesloten hoeveelheid gas gelijk bleef. Bij temperatuurverhoging vond hij dus dat het volume van het gas groter werd.

Bij temperatuurverlaging werd juist het volume van het gas kleiner.

Als de uitkomsten van de metingen in een diagram werden gezet, vond men dit:

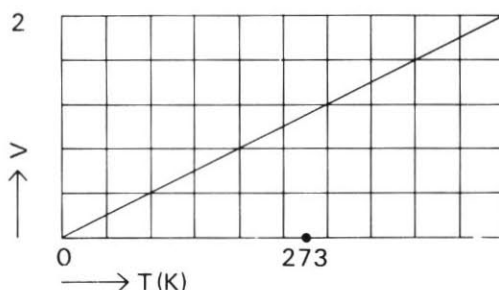


Ook hier geldt:

- Bij verlaging van de temperatuur onder nul graden Celsius wordt het volume van het gas kleiner.
- Verlengt men de rechte lijn, dan snijdt deze lijn de horizontale as bij -273°C .

Bij deze temperatuur zal dus het volume van het gas (bijna) nul worden.

Maken we weer een diagram, maar zetten we nu het volume van het gas uit tegen de temperatuur in kelvin dan vinden we:



Het volume van een bepaalde hoeveelheid gas is recht evenredig met de temperatuur in kelvin, dus:

$$\frac{V}{T} = \text{constant, of: } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

(mits de hoeveelheid en de druk van het gas gelijk blijft).

Algemene gaswet theorie

De drie gaswetten kunnen tot één wet worden gecombineerd mits de hoeveelheid gas constant is.

De drie gaswetten luiden:

Boyle: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

(hoeveelheid gas en temperatuur constant)

Gay Lussac I: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

(hoeveelheid gas en volume constant)

Gay Lussac II: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

(hoeveelheid gas en druk constant)

De combinatie hiervan heet:

Algemene gaswet: $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$

In woorden luidt deze wet:

Voor een bepaalde hoeveelheid gas is het produkt van druk en volume gedeeld door de absolute temperatuur constant.

Voorbeeld

60 dm³ gas met een druk van 20 N/cm² wordt van 27 °C tot 47 °C verwarmd. Het volume maakt men 32 dm³. Hoe groot wordt de druk?

Oplossing

$$p_1 = 20 \text{ N/cm}^2$$

$$T_1 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

$$V_1 = 60 \text{ dm}^3$$

$$p_2 = \dots$$

$$T_2 = 273 + 47 = 320 \text{ K}$$

$$V_2 = 32 \text{ dm}^3$$

Invullen in de algemene gaswet geeft:

$$\frac{20 \times 60}{300} = \frac{p_2 \times 32}{320}$$

$$p_2 = \frac{320}{32} \times \frac{20 \times 60}{300}$$

$$p_2 = 40 \text{ N/cm}^2$$

opdrachten

- 1 Van een hoeveelheid gas met een volume van 4 dm³ en een druk van 10 N/cm² wordt het volume vergroot tot 12 dm³. Hoe groot wordt de druk als de temperatuur gelijk blijft?
- 2 In een cilinder heerst een druk van 3 N/cm². Het volume is 20 dm³. De zuiger wordt zover naar beneden geduwd, dat het volume 4 dm³ wordt. Bereken de druk bij gelijkblijvende temperatuur.
- 3 10 dm³ gas met een druk van 15 N/cm² wordt verwarmd van 250 K tot 400 K. Bereken de druk als het volume gelijk blijft.
- 4 14 dm³ gas met een druk van 5 N/cm² wordt verwarmd van 7 °C tot 177 °C terwijl men ook het volume wijzigt. De druk stijgt tot 15 N/cm². Bereken het volume bij deze druk en temperatuur.
- 5 (Eindexamen mavo-D, 1981)
We hebben een fietspomp waarvan de

opening verstopt is.

De lengte van de afgesloten luchtkolom bedraagt 16 cm.

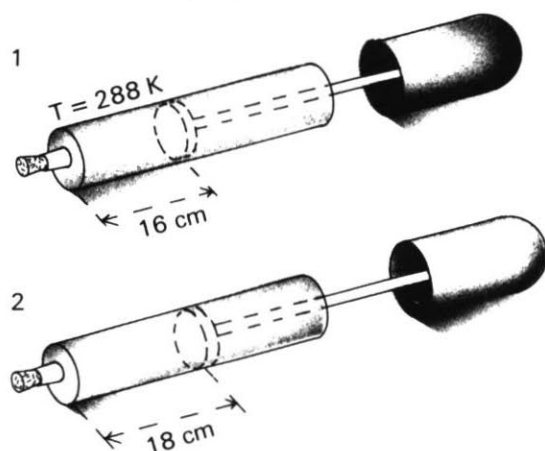
De inwendige doorsnede van de fietspomp is 12 cm^2 .

De temperatuur van de afgesloten lucht is 288 K (zie afbeelding 1).

Men laat de pomp in het zonlicht liggen. Daardoor stijgt de temperatuur van de lucht in de fietspomp. Het gevolg is dat de zuiger naar rechts beweegt. We verwaarlozen de wrijving.

Op een bepaald moment is de lengte van de afgesloten luchtkolom 18 cm (zie afbeelding 2).

Bereken de temperatuur van de afgesloten lucht in de fietspomp op dat moment.



6 (Herexamen mavo-D, 1973)

In een afgesloten vat wordt 20 g gas verwarmd. De uitzetting van het vat wordt bij deze verwarming verwaarloosd.

In het diagram is het verband weergegeven tussen de temperatuur en de druk van het gas (volume constant).

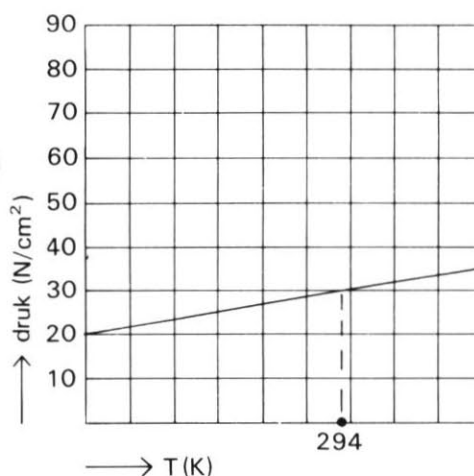
a Bereken de druk van het gas bij 343 K. Verwarm nu in het vat in plaats van 20 gram, 40 gram van hetzelfde gas.

b Neem het diagram over en teken de grafiek die het verband weergeeft tussen de temperatuur en de druk van deze 40 gram gas bij verwarming.

Licht je tekening toe.

In werkelijkheid zal door de temperatuurstijging het volume van het vat wel iets veranderen.

Welke invloed heeft deze volumeverandering op de druk van het afgesloten gas?



Eigenschappen van moleculen theorie

In klas 2 heb je gezien dat alle stoffen opgebouwd zijn uit kleine deeltjes. Bij scheikunde heb je waarschijnlijk geleerd, dat de meeste stoffen zijn opgebouwd uit moleculen en dat deze moleculen weer bestaan uit atomen. De moleculen bezitten nog alle eigenschappen van die stof.

Een klein aantal stoffen bestaat niet uit moleculen, maar zijn direct opgebouwd uit atomen. Alle metalen zijn hier een voorbeeld van. Een atoom van zo'n metaal bezit ook nog de eigenschappen van dat metaal.

Enkele eigenschappen van moleculen zijn:

Aantrekkingskracht tussen moleculen

Moleculen oefenen ook aantrekkingskracht uit op elkaar. Daarom blijven de deeltjes in vaste stoffen bij elkaar en blijft de stof een geheel.

Er zijn twee soorten aantrekkingskracht tussen moleculen:

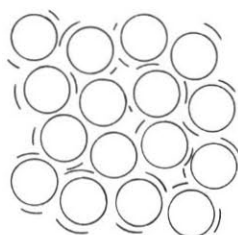
cohesie: aantrekkingskracht tussen moleculen van dezelfde soort, bijv. een kwikmolecuul en een ander kwikmolecuul.

adhesie: aantrekkingskracht tussen moleculen van verschillende soort, bijv. tussen water en glas.

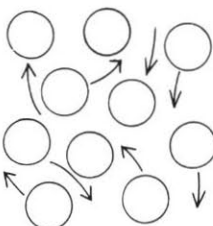
Moleculen bewegen

De deeltjes in stoffen staan niet stil.

In vaste stoffen bewegen de moleculen alleen om hun vaste plaats, ze trillen als het ware. In vloeistoffen bewegen de moleculen, door elkaar, zij hebben geen vaste plaats, net als bij gassen.



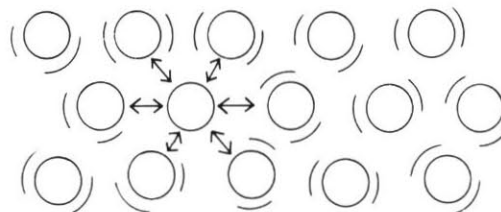
vaste stoffen



vloeistoffen en gassen
(moleculen bewegen door elkaar)

Intermoleculaire ruimte

De moleculen liggen niet stijf tegen elkaar aan. Door hun beweging hebben zij meer ruimte nodig. Deze ruimte tussen de moleculen noemen we de intermoleculaire ruimte.



intermoleculaire ruimte

vaste stof bij hogere temperatuur
een grotere intermoleculaire ruimte

Snelheid van de moleculen is niet constant

De snelheid van de moleculen is niet constant. Bij hogere temperatuur gaan de moleculen sneller bewegen.

Bij lagere temperatuur is hun snelheid kleiner. Als de temperatuur gelijk blijft, blijft ook de (gemiddelde) snelheid van de moleculen even groot.

We kunnen namelijk beter van gemiddelde snelheid spreken dan van de snelheid van moleculen bij een bepaalde temperatuur.

Door onderlinge botsingen tussen moleculen, kunnen sommige moleculen een grotere snelheid krijgen, terwijl andere juist een wat lagere snelheid krijgen.

De gemiddelde snelheid echter blijft bij deze botsingen even groot.

Enkele verschijnselen verklaard theorie

Uitzetting bij temperatuurverhoging

Bij hogere temperatuur gaan de moleculen sneller trillen (vaste stof) en bewegen (vloeistof en gassen).

Ze hebben hierdoor meer ruimte nodig.

De intermoleculaire ruimte tussen de stoffen wordt groter.

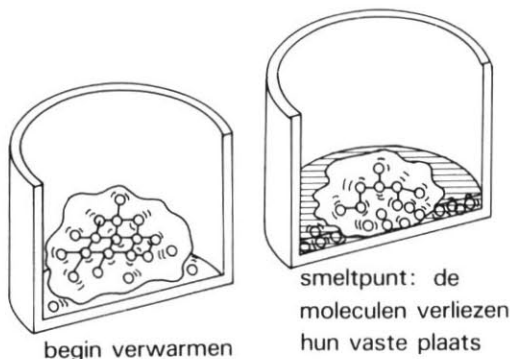
De stof zet uit.

Smelten

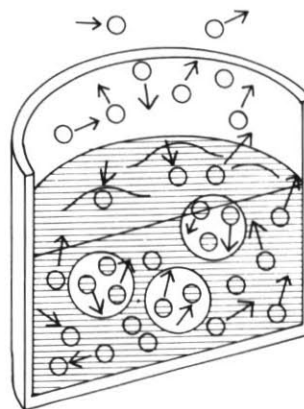
Als de temperatuur van een vaste stof hoger wordt, gaan de moleculen sneller trillen. De stof zet uit, de afstanden tussen de moleculen worden groter. Hierdoor wordt de cohesie kleiner.

Wordt de temperatuur nog hoger, dan komt er een temperatuur waarbij de cohesie de snel

bewegende moleculen niet meer op hun vaste plaats kan houden. De deeltjes bewegen zich los van elkaar. De stof smelt.



een lagere temperatuur koken. Hoog in de bergen, waar de luchtdruk lager is dan bijvoorbeeld in Amsterdam, kookt water bij een temperatuur van 85°C . Het omgekeerde geldt natuurlijk ook.



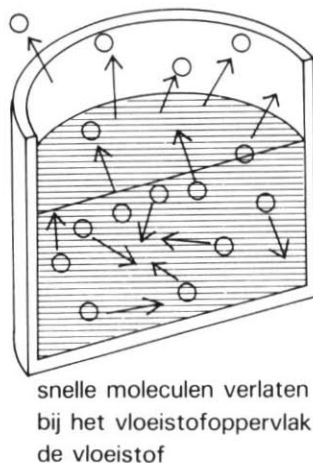
Verdampen

Ook in een vloeistof gaan de moleculen bij temperatuurverhoging sneller bewegen.

Sommige moleculen zijn dan al in staat om de vloeistof te verlaten tegen de cohesie in en komen in de gasfase terecht.

Bij elke temperatuur vindt in een vloeistof verdamping plaats aan het oppervlak van de vloeistof. We kunnen dus zeggen, waar vloeistof is, is ook damp.

Bij hogere temperatuur vindt aan het oppervlak een wat grotere verdamping plaats. De snelheid van verdampen is toegenomen.



snelle moleculen verlaten bij het vloeistofoppervlak de vloeistof

Koken

De verdampingssnelheid van een vloeistof is het grootst bij het kookpunt. De hele vloeistof is bij deze temperatuur als het ware aan het verdampen.

Niet alleen aan het oppervlak van de vloeistof, maar ook door de hele vloeistof heen worden dampbellen gevormd en vindt de verdamping plaats.

De temperatuur waarbij een vloeistof kookt is afhankelijk van de druk op de vloeistof.

Water kookt bij 100°C als de druk $10,2 \text{ N/cm}^2$ is.

Wordt de druk lager, dan kan de vloeistof bij

Condenseren

Misschien heb je wel eens gezien dat de binnenkant van een ruit beslaat. Op de ruit (keuken, auto) vormen zich kleine waterdruppeltjes. Dit gebeurt ook als je tegen een koud voorwerp ademt. Kennelijk zit er in de lucht en in jouw adem waterdamp, die condenseert op een koud voorwerp in de vorm van kleine druppeltjes.

Dit komt omdat op een koude plek (bijv. het raam) de 'ontsnapte' moleculen langzamer gaan bewegen. Hun onderlinge aantrekkingskracht (cohesie) krijgt dan de kans ze naar elkaar toe te trekken.

Er ontstaan kleine vloeistofdruppeltjes.

Verzadigde en onverzadigde damp

Als je een vloeistof laat verdampen in een afgesloten ruimte kan de vloeistof niet geheel verdampen. Er kan bij een bepaalde temperatuur maar een beperkte hoeveelheid damp in een afgesloten ruimte.

Je zegt dan, dat de damp van dit gas bij deze temperatuur verzadigd is.

Elke seconde ontsnappen uit de vloeistof zeer veel moleculen, maar elke seconde keren evenveel moleculen uit de dampfase weer terug naar de vloeistof.

Je kunt de vloeistof pas verder verdampen als je het volume van de dampruimte vergroot.

Ook kan de vloeistof verder verdampen als je de temperatuur opvoert. De druk wordt dan wel weer hoger.

In een niet afgesloten ruimte geldt dit niet. De vloeistof kan dan in principe onbeperkt verdampen, de damp blijft onverzadigd.

Boyle en kleine deeltjes

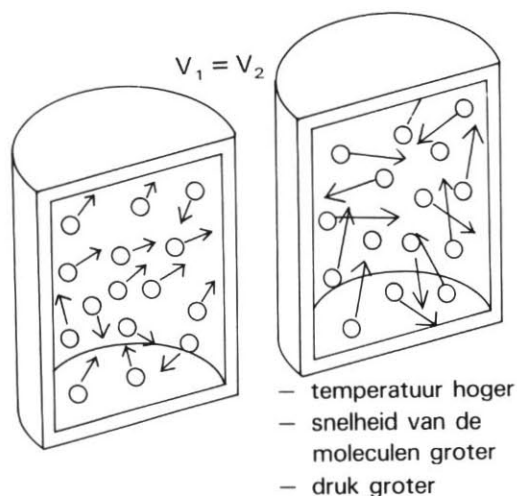
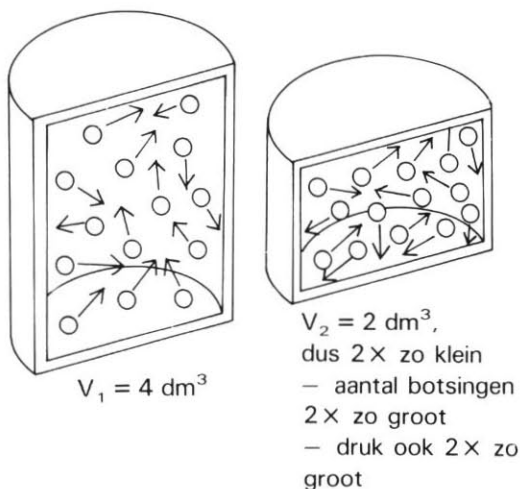
De Wet van Boyle ($p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$), die aangeeft dat het produkt van druk en volume van een bepaalde massa gas constant is bij een bepaalde temperatuur, kun je met de theorie over de kleine deeltjes heel goed begrijpen.

In een gas bewegen de moleculen met een bepaalde gemiddelde snelheid door elkaar. Als het gas in een afgesloten ruimte zit, zullen de deeltjes van dit gas tegen de wand van de ruimte botsen.

Deze botsingen veroorzaken de druk op de wand.

Als het volume, waarin deze hoeveelheid gas opgesloten zit tweemaal zo klein wordt, dan zal het aantal botsingen per tijdseenheid tweemaal zo groot worden. De druk wordt dan ook tweemaal zo groot (zie de afbeelding op de volgende bladzijde).

Als het volume zesmaal zo groot wordt, zal de druk zesmaal zo klein worden, immers het aantal botsingen per tijdseenheid wordt dan zesmaal zo klein.



Gay Lussac en kleine deeltjes

Als je de temperatuur van een gas verhoogt, krijgen de moleculen een grotere gemiddelde snelheid.

Wordt bij deze temperatuurverhoging het volume van het gas even groot gehouden ($V = \text{constant}$), dan zal de druk toenemen.

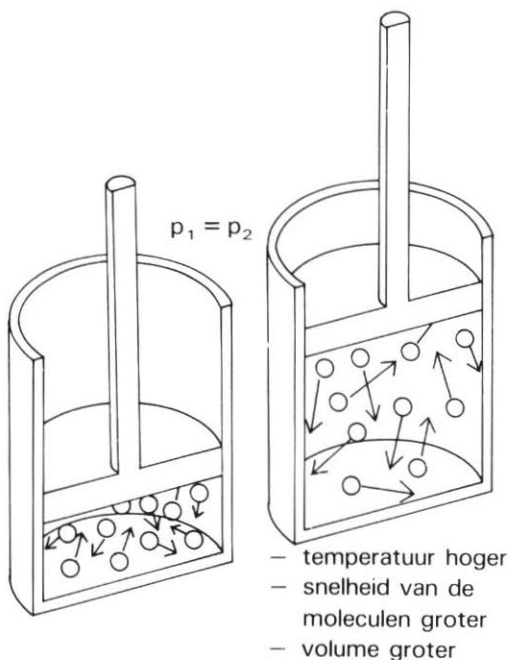
Dit komt doordat de moleculen tegen de wanden van het vat met grotere snelheid en vaker botsen.

Als de temperatuur van het gas verlaagd wordt, wordt de gemiddelde snelheid van de moleculen lager, de botsingssnelheid van de moleculen wordt kleiner.

De druk van het gas is kleiner geworden.

Wordt een gas verhit in een ruimte afgesloten door een vrij beweegbare zuiger, dan zal bij geringe drukvergroting, de zuiger weggeduwd worden. Het volume van het gas zal dan groter worden, de (uiteindelijke) druk van het gas blijft gelijk.

De moleculen van het gas hebben meer ruimte gekregen. De wanden van het vat krijgen wel te maken met botsingen van snellere moleculen, maar het aantal botsingen per tijdseenheid is veel kleiner geworden.



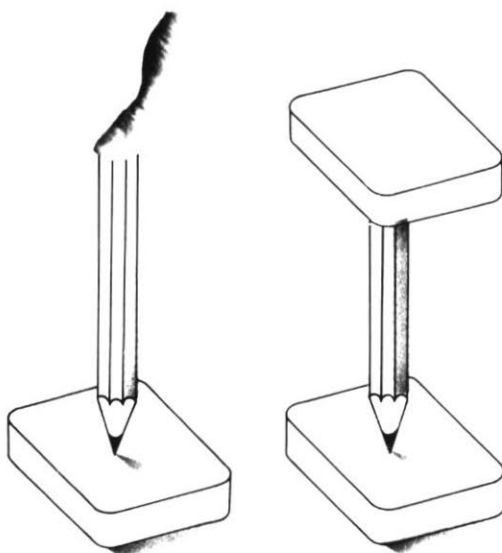
Druk theorie

Het woord druk gebruik je in het dagelijks leven in een heleboel situaties, denk maar aan: het is drukkend weer, drukbel, drukpers, het is druk op straat.

In de natuurkunde gebruiken we het woord druk in speciale betekenis, die wel vaak wat met de bovengenoemde woorden te maken heeft, maar toch vaak iets anders is. Let maar op de volgende voorbeelden.

- Als een gebied met lage luchtdruk (depresie) over ons land trekt is het weer vaak slecht.
- Onder water voel je de druk op je oren.
- Met ski's aan, is de druk op de sneeuw minder dan zonder ski's, je zakt minder in de sneeuw weg.

In klas 2 heb je kunnen zien dat druk veel te maken heeft met kracht en oppervlak.



We hebben daar ook geleerd dat druk de kracht op 1 cm^2 is (of op 1 dm^2 of op 1 m^2). De eenheid van druk is dus N/cm^2 , of N/dm^2 , of N/m^2 .

De formule waarmee we de druk kunnen berekenen als we de kracht en de oppervlakte weten:

$$p = \frac{F}{A} \text{ of } p = \frac{G}{A}$$

Hierin is:

F is kracht in N

G is gewicht in N

A is oppervlakte in cm^2 (of dm^2 of m^2)

p is druk in N/cm^2 (of N/dm^2 of N/m^2)

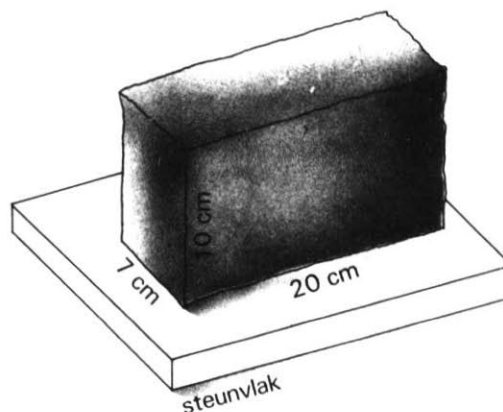
Behalve de N/cm^2 , N/dm^2 en N/m^2 worden voor de eenheid van druk ook andere eenheden gebruikt:

- de pascal (Pa); $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
- de bar (= 1000 millibar), wordt gebruikt bij de meteorologie,

opdracht

Een baksteen is 20,0 cm lang, 7,0 cm breed en 10,0 cm hoog. Het gewicht van de steen is 35 N.

- Bereken de druk die de steen op het steunvlak uitoefent, als de steen in de stand ligt zoals in de afbeelding is aangegeven. De steen wordt zo gekanteld, dat hij op zijn kleinste steunvlak rust.
- Maak een tekening van de situatie. Hoe groot is nu de druk die op het steunvlak wordt uitgeoefend?

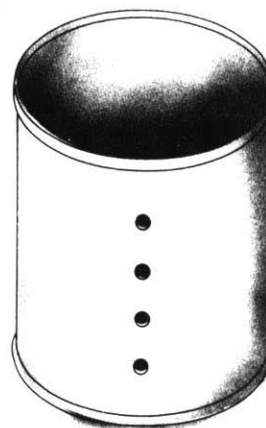
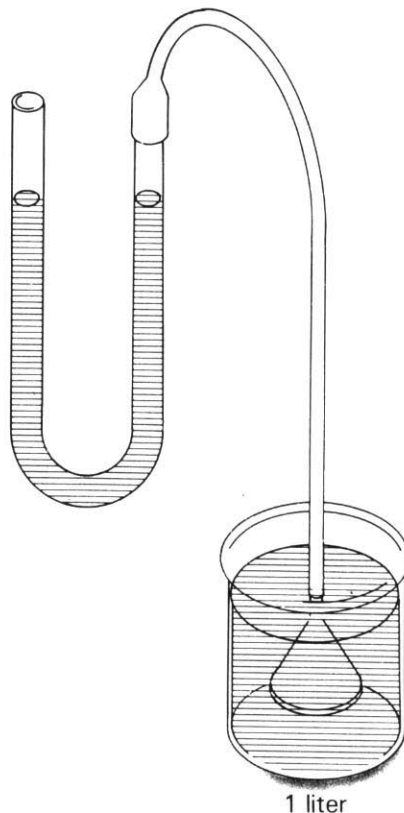
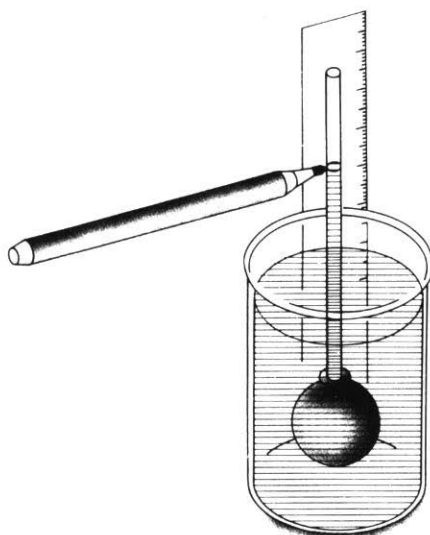


Hydrostatische druk activiteit 5

In klas 2 hebben we gezien dat door een vloeistof een druk kan worden uitgeoefend, de zgn. hydrostatische druk. Denk maar eens aan de volgende proeven. Als je het niet meer weet, voer dan één of meer van deze proeven uit.

Vragen

- 1 Uit de proeven blijkt dat de hydrostatische druk afhangt van ...
- 2 Als je deze proeven uitvoert met een vloeistof met kleinere dichtheid dan water (bijv. spiritus), dan zal de hydrostatische druk op gelijke diepte ...
- 3 Waar zal een grotere hydrostatische druk heersen, 10 meter onder het wateroppervlak van het IJsselmeer of 10 meter onder het wateroppervlak van de Noordzee? Waarom?



Hydrostatische druk theorie

Uit de vorige activiteit blijkt dat de hydrostatische druk afhangt van:

- de diepte waar je de hydrostatische druk bepaalt
- de dichtheid van de vloeistof

De formule waarmee je de druk in een vloeistof kan uitrekenen is:

$$p_{\text{hydr}} = h \cdot \rho \cdot g$$

h is diepte in dm

ρ is dichtheid in kg/dm^3

g is versnelling van de zwaartekracht (ongeveer 10 m/s^2)

p_{hydr} is druk in N/dm^2

Opmerking

We moeten bij het werken met de formule van de hydrostatische druk en (later) met de formule van de hydrostatische kracht goed op de juiste eenheden letten. De newton in de drukeenheid krijgen we door het aantal kilogram te vermenigvuldigen met de versnelling van de zwaartekracht (hier op aarde ongeveer 10 m/s^2). Dat geeft $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10 \text{ N}$.

We moeten er voor zorgen dat de eenheid van dichtheid ρ de kg/dm^3 is of kg/m^3 , in ieder geval kilogram erin. (De g/cm^3 als eenheid van dichtheid kunnen we niet gebruiken,

opdrachten

- 1 Een diepe bak is gevuld met glycerine met dichtheid $1,2 \text{ kg/dm}^3$.
 - a Hoe groot is de hydrostatische druk op 80 cm diepte?
 - b Op welke diepte is de hydrostatische druk 30 N/dm^2 ?
- 2 Een kubusvormig glazen vat (inwendige afmetingen: lengte = breedte = diepte = 0,3 meter) is voor de helft gevuld met alcohol. De dichtheid van alcohol bij de heersende temperatuur is 800 kg/m^3 . Bereken de grootte van de hydrostatische kracht en druk die de alcohol op de bodem van het vat uitoefent.

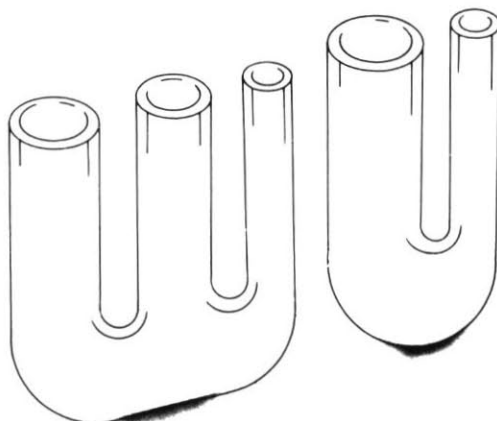
Hoofdwet van de hydrostatica

activiteit 6

Wat je nodig hebt

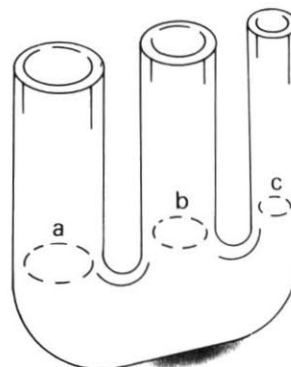
- + communicerende vaten
- + water
- + olie

Opstelling



Vragen

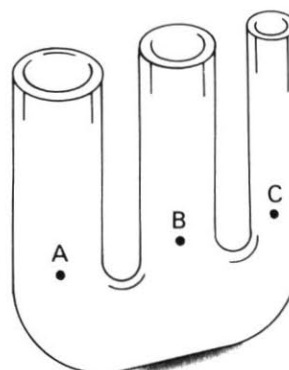
- 1 Is de hydrostatische kracht op de vlakken a, b en c even groot?
Waarom wel, of waarom niet?



Uitvoering Proef 1

- 1 Vul de vaten voor ongeveer de helft met water.
- 2 Maak een tekening van wat je ziet. Teken hoe het water in de communicerende vaten staat.
- 3 Schrijf op wat je ziet aan het niveau van de vloeistof in de buizen.

- 2 Is de hydrostatische druk in de punten A, B en C even groot?
Waarom wel, of waarom niet?



Uitvoering Proef 2

- 1 Vul het communicerende vat weer voor de helft met water.
- 2 Giet in één van de benen een paar cm olie.
- 3 Teken en schrijf op wat je ziet.

want grammen vermenigvuldigd met 10 geven geen newtons.)

Als je nu voor de dichtheid de kg/dm^3 gebruikt, dus voor decimeters kiest, dan moet de diepte (h) ook in decimeters worden uitgedrukt.

$$p_{\text{hydr}} = h \cdot \rho \cdot g$$

$$p_{\text{hydr}} = \dots \text{ dm} \times \dots \text{ kg/dm}^3 \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_{\text{hydr}} = \dots \text{ kg/dm}^2 \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_{\text{hydr}} = \dots \text{ 1/dm}^2 \times 10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$p_{\text{hydr}} = \dots \text{ N/dm}^2$$

Voorbeeld

Hoe groot is de druk op 15 cm diepte in kwik?

$$\rho_{\text{kwik}} = 13,6 \text{ g/cm}^3 = 13,6 \text{ kg/dm}^3.$$

Oplossing

$$p_{\text{hydr}} = h \cdot \rho \cdot g$$

$$p_{\text{hydr}} = 1,5 \text{ dm} \times 13,6 \text{ kg/dm}^3 \times 10 \text{ m/s}^2$$

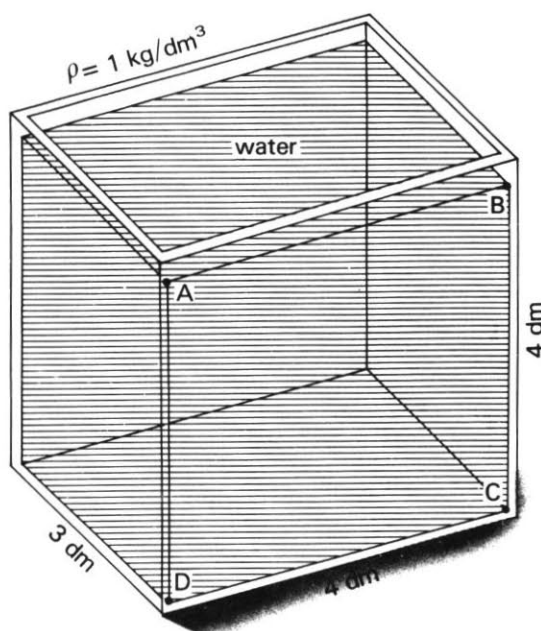
$$p_{\text{hydr}} = 204 \text{ N/dm}^2$$

Hydrostatische kracht

De bodem van een bak gevuld met een vloeistof ondervindt een hydrostatische druk van

$$p_{\text{hydr}} = h \cdot \rho \cdot g.$$

In dit geval een druk $p_{\text{hydr}} = 4 \text{ dm} \times 1 \text{ kg/dm}^3 \times 10 = 40 \text{ N/dm}^2$.



Elke vierkante decimeter van de bodem van de bak ondervindt een kracht van 40 N. De oppervlakte van de bodem is 12 dm^2 , de kracht op de hele bodem is dan:

$$p = \frac{F}{A} \text{ of } F = p \cdot A$$

$$F = 40 \text{ N/dm}^2 \times 12 \text{ dm}^2 = 480 \text{ N}$$

Uit dit voorbeeld blijkt de grootte van de hydrostatische kracht:

$$F_{\text{hydr}} \text{ is } p_{\text{hydr}} \times A$$

$$F_{\text{hydr}} \text{ is } h \cdot \rho \cdot g \cdot A$$

h is diepte in dm

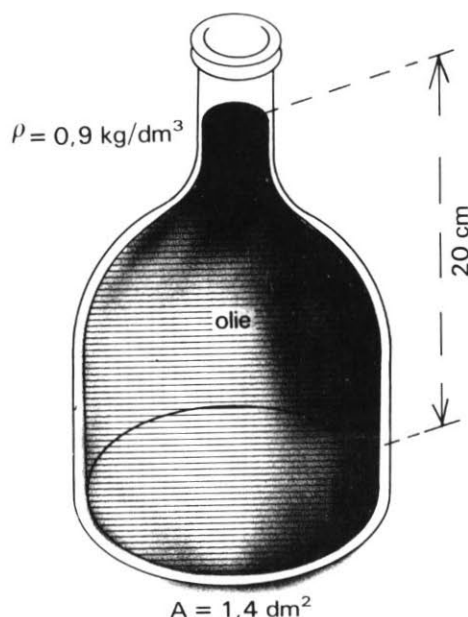
ρ is dichtheid in kg/dm^3

g is versnelling van de zwaartekracht, op aarde 10 m/s^2

A is oppervlakte in dm^2

Voorbeeld

Hoe groot is de hydrostatische kracht op de bodem van de fles?



Oplossing

$$F_{\text{hydr}} = h \cdot \rho \cdot g \cdot A$$

$$= 2 \text{ dm} \times 0,9 \text{ kg/dm}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1,4 \text{ dm}^2$$

$$= 25,2 \text{ N}$$

De grootte van de hydrostatische kracht op een horizontaal vlak in de vloeistof is dus betrekkelijk eenvoudig te berekenen, omdat ieder deel van dit vlak zich op dezelfde diepte (h) bevindt.

Wat moeilijker is het de hydrostatische kracht te berekenen op een niet horizontaal vlak in de vloeistof.

Wat is namelijk de diepte (h) van het zijvlak ABCD?

Voor de punten A en B is de diepte nul decimeter, voor de punten C en D is dat 4 decimeter.

De oplossing is: vul in de formule voor de hydrostatische kracht bij de niet horizontale vlakken voor de diepte (h) de gemiddelde hoogte in, in dit geval dus 2 dm.

De hydrostatische kracht op het zijvlak ABCD (met $A = 4 \text{ dm} \times 4 \text{ dm} = 16 \text{ dm}^2$):

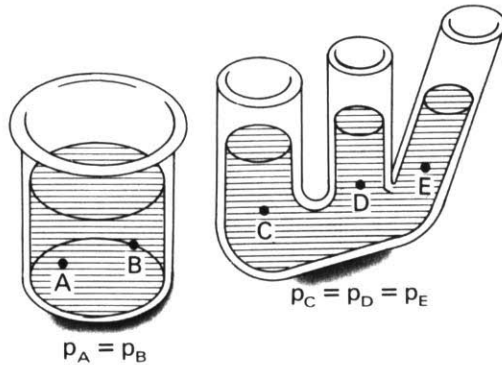
$$F_{\text{hydr}} = h \cdot \rho \cdot g \cdot A.$$

$$= 2 \text{ dm} \times 1 \text{ kg/dm}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 16 \text{ dm}^2$$

$$= 320 \text{ N}$$

Hydrostatische hoofdwet theorie

In activiteit 6 hebben we kunnen zien dat de druk in punten in dezelfde vloeistof op gelijke diepte even groot is.



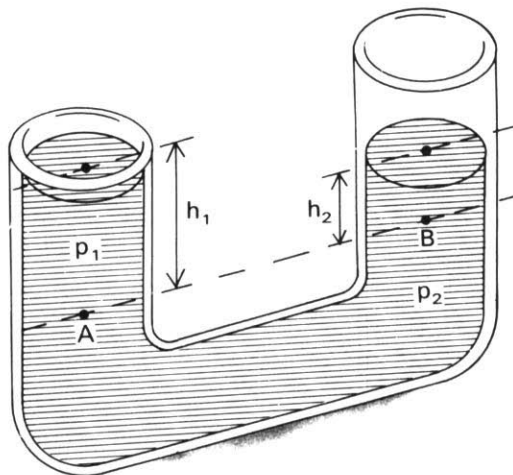
Deze regel noemt men de hydrostatische hoofdwet.

In één horizontaal vlak in één en dezelfde vloeistof is de druk in ieder punt even groot.

Ook voor de wat ingewikkelder gevallen gaat deze wet op.
We zullen hier drie gevallen behandelen.

Communicerende vaten met twee vloeistoffen

Giet men in één been van communicerende vaten een andere vloeistof, dan zal – als de vloeistoffen zich niet vermengen – de vloeistofoppervlakken niet even hoog staan.



Als we door het grensvlak tussen de twee vloeistoffen een horizontale lijn trekken, dan geldt voor de punten A en B: de druk in A = de druk in B.

Want ze liggen in hetzelfde horizontale vlak en in dezelfde vloeistof (hoofdwet van de hydrostatica).

Dus:

$p_A = p_B$ of:

$h_1 \cdot \rho_1 \cdot g = h_2 \cdot \rho_2 \cdot g$; daar g even groot is,

kunnen we deze term links en rechts wegdelen. We houden dan over:

$$h_1 \cdot \rho_1 = h_2 \cdot \rho_2.$$

Meten we h_1 en h_2 met een liniaal, en weten we de dichtheid van één vloeistof, dan kunnen we de dichtheid van de andere vloeistof uitrekenen.

De manometer

In de afbeelding hieronder zie je een open manometer. In de twee benen staat de vloeistof even hoog (communicerende vaten).

Met zo'n open manometer kun je de druk van een gas (bijv. het gas uit de gasleiding) meten.

Sluiten we de manometer aan op de gasleiding en openen we de gaskraan, dan ontstaat er een hoogteverschil tussen de vloeistofniveau's.

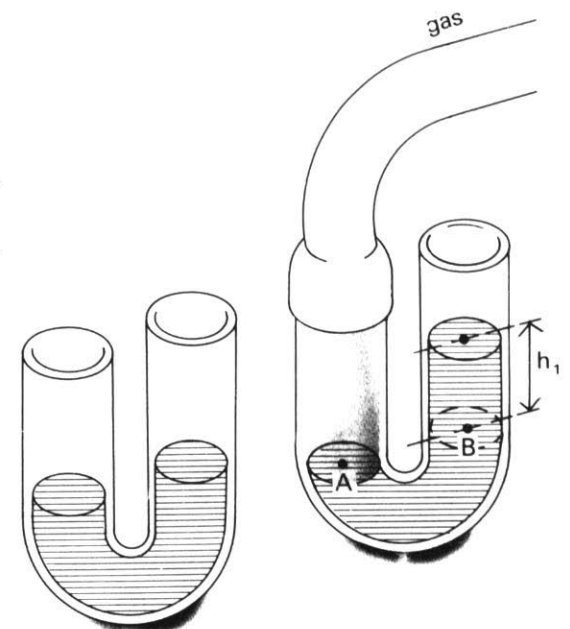
Tekenen we weer een horizontaal vlak door het laagste van de twee vloeistofoppervlakken, dan geldt hier weer de hydrostatische hoofdwet.

$$p_A = p_B$$

De druk bij A is de gasdruk. De druk bij B wordt veroorzaakt door de vloeistofdruk (en de luchtdruk).

De vloeistofdruk is gelijk aan $h_1 \cdot \rho \cdot g$. De hoogte h_1 is op te meten.

Dus de gasdruk is $h_1 \cdot \rho \cdot g$ groter dan de luchtdruk.



De zuigerdruk

Als één been van een communicerend vat afgesloten is door een zuiger waarop een gewicht staat, dan staan de vloeistofoppervlakken ook niet even hoog.

Dat komt, omdat de zuiger druk op de vloeistof uitoefent, en daardoor de vloeistof bij A omhoog duwt.

Ook nu geldt de hydrostatische hoofdwet, dus:

$$p_A = p_B$$

De druk bij A wordt veroorzaakt door de hydrostatische druk van de vloeistofkolom met hoogte h.

Is de zuiger in rust, terwijl de zuiger zich vrij, dus zonder wrijving, kan bewegen, dan wordt de druk bij B veroorzaakt door de zuiger.

De zuigerdruk is uit te rekenen met de formule:

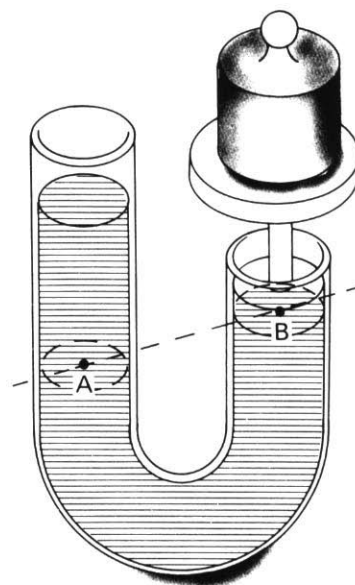
$$p = \frac{G}{A}$$

Hierin is:

G is het gewicht van de zuiger met het gewicht erop in N

A is het oppervlak van de zuiger in cm^2

p is de zuigerdruk in N/cm^2 .



Wet van Pascal theorie

Uit het voorgaande voorbeeld van een zuiger die op een vloeistof drukt, zagen we al dat de zuigerdruk zich door de vloeistof heen verplaatst.

In het algemeen geldt:

Als op een vloeistof in evenwicht van buitenaf een kracht werkt, is de hydrostatische druk overal in de vloeistof met eenzelfde bedrag toegenomen.

Deze regel heeft men de wet van Pascal genoemd, naar de Franse natuurkundige Pascal (1623–1662).

Voorbeeld

Hoe groot is de druk in punt P?

De zuigerdruk is:

$$p = \frac{G}{A}, \quad p = \frac{60 \text{ N}}{0,4 \text{ dm}^2} = 150 \text{ N/dm}^2$$

Dus overal en in alle richtingen in de vloeistof werd de druk veroorzaakt door de zuiger van 150 N/dm^2 .

In punt P werkt ook nog de vloeistofdruk,

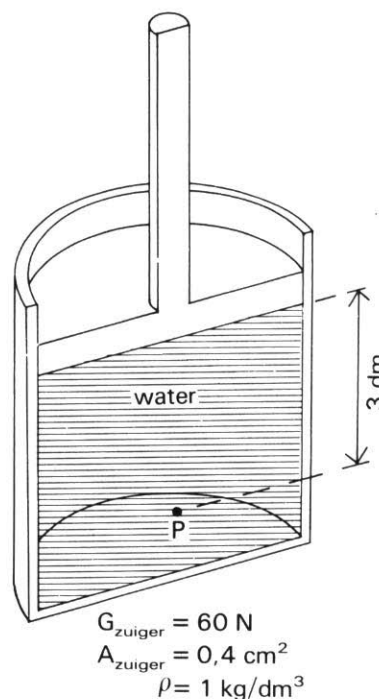
$$p_{\text{hydr}} = h \cdot \rho \cdot g$$

$$p_{\text{hydr}} = 3 \text{ dm} \times 1 \text{ kg/dm}^3 \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_{\text{hydr}} = 30 \text{ N/dm}^2$$

De druk in punt P, veroorzaakt door de zuigerdruk en de hydrostatische druk, is:

$$150 \text{ N/dm}^2 + 30 \text{ N/dm}^2 = 180 \text{ N/dm}^2.$$



De druk van lucht theorie

Luchtdruk, waterdruk en kwikdruk

Een eenvoudig proefje dat je thuis kunt doen en misschien ook wel eens gedaan hebt is dit: laat een glas vollopen in een bak met water en haal het omhoog met de open kant onder. Zolang de rand van het glas niet boven het water in de bak komt, blijft het glas gevuld met water. Je kunt hetzelfde doen met een fles of een vaas, of ook met een stuk plastic slang dat je onder water vol laat lopen en aan één kant dichthoudt, terwijl je dat gesloten eind omhooghaalt uit de bak.

Je zou steeds langere stukken slang of buizen kunnen nemen om te zien of het water er steeds in blijft. Het wordt wel moeilijk, want je moet tot meer dan tien meter gaan om te zien dat er een grens is.

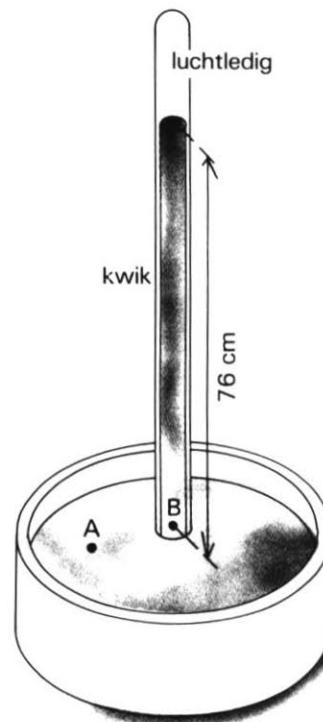


In een buis van 11 meter zakt het water terug tot de hoogte van ongeveer 10 meter boven het water in de bak en in langere buizen net zo. Bovenin ontstaat dan een leeg stuk: een ruimte met alleen een beetje waterdamp erin (geen lucht, want waar zou die vandaan gekomen moeten zijn?).

Omstreeks 1630 deed de Italiaan Torricelli deze proef op een heel handige manier: hij nam kwik in plaats van water. Kwik is 13,6 maal zo zwaar als water en daardoor had hij genoeg aan een buis van een meter lang. Als hij die buis helemaal vulde met kwik en hem dan op zijn kop in een bakje met kwik zette, zag hij het kwik in de buis terugzakken tot ongeveer 76 centimeter. Boven het kwik ontstond een vacuüm.

Als de luchtdruk verandert, verandert de hoogte van het water in de slang of van het kwik in de buis mee. Daarom kan je ze allebei

gebruiken om veranderingen in de luchtdruk aan te geven, dus als barometer.



Misschien heb je wel eens in een winkel of bij iemand thuis een kwikbarometer zien hangen. De waterbarometer wordt helemaal niet gebruikt. Door zijn lengte is die erg onhandig. Bovendien is hij nogal onbetrouwbaar, o.a. door de waterdamp boven het water.

Kwik – en vooral kwikdamp – is giftig, en dus schadelijk voor het milieu. Daarom worden metaalbarometers het meest gebruikt.

We hebben gezien dat de luchtdruk gemiddeld overeenkomt met een druk die een kwikkolom van 76 cm lengte uitoefent. De grootte van de luchtdruk is nu te meten.

In punt A heerst de luchtdruk en in punt B de vloeistofdruk. Volgens de hoofdwet van de hydrostatica geldt:

$$p_A = p_B$$

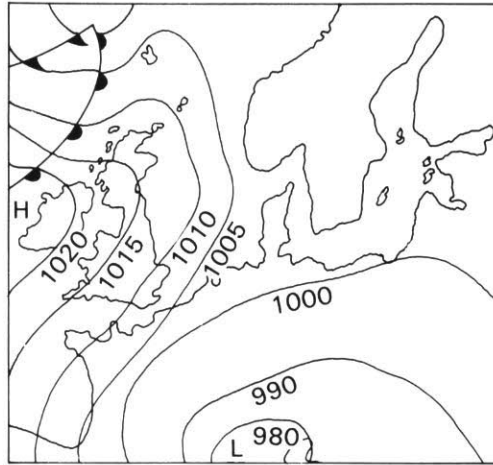
$$p_A = h \cdot \rho \cdot g =$$

$$\begin{aligned} &\text{We vullen voor } g \text{ de niet afgeronde waarde in.} \\ &7,6 \text{ dm} \times 13,6 \text{ kg/dm}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = \\ &1012,9 \text{ N/dm}^2 \end{aligned}$$

De gemiddelde luchtdruk is $1012,9 \text{ N/dm}^2$ of $10,1 \text{ N/cm}^2$ (afgerond).

In weerberichten hoor je de luchtdruk opgeven in een andere eenheid nl. bar en millibar (mbar). $1 \text{ bar} = 1000 \text{ mbar}$ en komt overeen met 10 N/cm^2 ; dus $10,1 \text{ N/cm}^2$ komt overeen met 1010 mbar .

Op de weerkaart zie je bijvoorbeeld 980 millibar voor een diepe depressie in Noord-Italië en 1020 millibar in een hogedrukgebied boven Ierland.



weerkaart

Pipet

Doordat er luchtdruk is kunnen we bijvoorbeeld met behulp van een pipet vloeistof uit een vat halen.

Als we de pipet in de vloeistof dompelen zal deze in de pipet en daarbuiten even hoog staan. (Waarom?) Sluiten we de pipet nu van boven af en halen we hem uit de vloeistof dan loopt er wat vloeistof uit. De lucht, afgesloten door de vinger, krijgt daardoor een groter volume en een kleinere druk. Bij de punt van de pipet duwt de luchtdruk de vloeistof omhoog. Zodra nu de druk van de lucht in de pipet (p_i) vermeerderd met de druk van de vloeistofkolom in de buis (p_{hydr}), gelijk is aan de druk van de buitenlucht (p_b), blijft de vloeistof in de pipet staan.

Of: $p_i + p_{hydr} = p_b$ (als de vloeistof in rust is). Hiermee kunnen we de druk van de afgesloten hoeveelheid lucht uitrekenen. Want is de vloeistofkolom in de pipet bijvoorbeeld 20 cm (2,0 dm) lang en de pipet gevuld met water ($\rho_{water} = 1 \text{ kg/dm}^3$), dan is

$$\begin{aligned} p_{hydr} &= h \cdot \rho \cdot g = \\ &= 2 \text{ dm} \times 1 \text{ kg/dm}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \\ &= 20 \text{ N/dm}^2 \\ &= 0,2 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

Is de druk van de buitenlucht gegeven $10,3 \text{ N/cm}^2$, dan geldt:

$$p_i + p_{hydr} = p_b$$

$$p_i + 0,2 \text{ N/cm}^2 = 10,3 \text{ N/cm}^2$$

$$p_i = 10,3 - 0,2 = 10,1 \text{ N/cm}^2$$



opdrachten

1 In een kwikbarometer staat het kwik 77 cm hoog.

Hoe groot is de luchtdruk in N/cm^2 ?

2 De open manometer uit de afbeelding is verbonden met een vat. De U-buis is gevuld met water. De luchtdruk is $10,2 \text{ N/cm}^2$. Na het openen van de kraan daalt het water in het rechterbeen 15 cm.

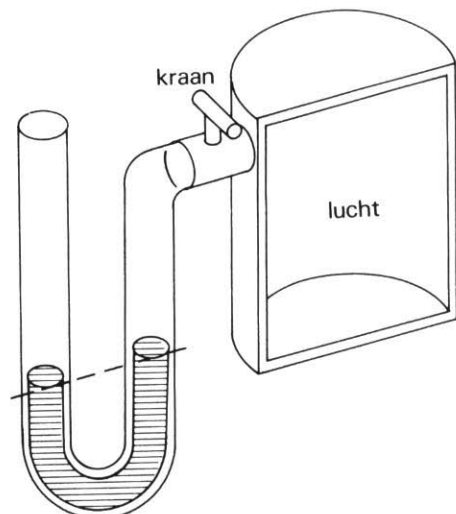
a Hoe groot is het hoogteverschil tussen de vloeistofoppervlakken in de U-buis nu?

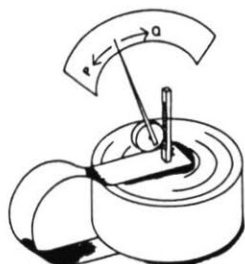
b Bereken de druk van het gas in het vat.

3 (Herexamen mavo-C, 1976)

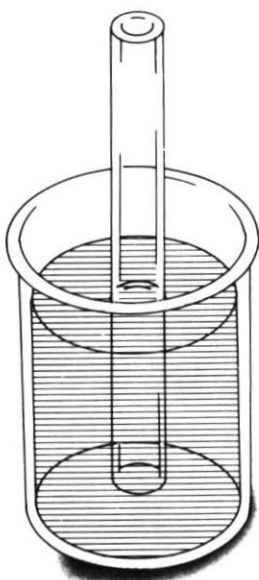
Men kan de grootte van de luchtdruk onder andere bepalen met behulp van een metaalbarometer. In de afbeelding is schematisch een metaalbarometer getekend.

a Zal de wijzer in de richting van P of in de richting van Q draaien als de druk van de buitenlucht toeneemt? Licht het antwoord toe.





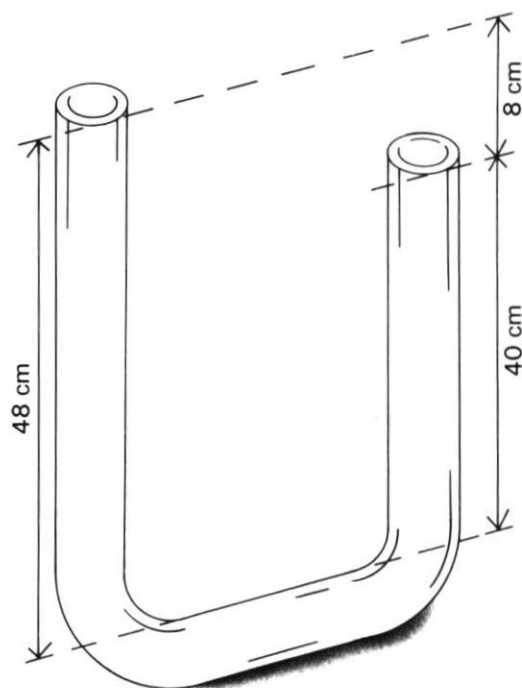
- b De barometer wordt voorzien van een schaalverdeling als men er de luchtdruk mee wil meten.
Hoe kan een juiste schaalverdeling gemaakt worden?
- c Ter ere van Torricelli, die de eerste kwikbarometer maakte, is in Italië een monument opgericht. Dit monument bestaat uit een barometerhuis, gevuld met olie in plaats van kwik. De dichtheid van die olie is $0,9 \text{ kg/dm}^3$ ($0,9 \text{ g/cm}^3$).
Bereken, hoe hoog de olie zal staan bij een luchtdruk van $10,35 \text{ N/cm}^2$.
- d Een barometer die bij een klein verschil in luchtdruk al een groot verschil in aanwijzing geeft is een gevoelige barometer.
Welke barometer is gevoeliger, de kwikbarometer of de oliebarometer?
Licht het antwoord toe.
- e Wat gebeurt met de gevoeligheid van de kwikbarometer als de buis nauwer wordt gemaakt?
Licht het antwoord toe.
- 4 (Examen mavo-D, 1981)
Een glazen buis staat in een bak met water. De buis is aan beide kanten open. We sluiten de buis aan de bovenkant af en halen hem uit de bak. Er blijft een hoeveelheid water in de buis achter.
De lengte van de waterkolom is 20 cm . De druk van de buitenlucht is 10 N/cm^2 .
Bereken de druk van de afgesloten lucht in de buis.



opening van het korte been komt.

De dichtheid van water is $1,0 \text{ g/cm}^3$.

- a Hoever staat het water onder de opening van het lange been?
- b Welke natuurkundige wet is bij beantwoording van vraag a toegepast?
Hoe luidt deze wet?
Op het water in het lange been wordt zoveel olie geschonken, dat het water in het korte been juist tot de rand komt te staan.
De dichtheid van olie is $0,8 \text{ g/cm}^3$.
- c Het olieoppervlak staat nu:
- minder dan 8 cm onder de opening van het lange been
 - 8 cm onder de opening van het lange been
 - meer dan 8 cm onder de opening van het lange been
- Kies het juiste antwoord en licht deze keuze toe.
- d Bereken hoeveel cm^3 olie in het lange been is gegoten.
In het lange been wordt nu nog zoveel olie bijgegoten, dat de olie tot de rand van het lange been komt te staan. Er loopt daardoor wat water over de rand van het korte been.
- e Bereken nu de hoogte van de oliekolom in het lange been.



- 5 (Herexamen mavo-D, 1974)
De twee benen van een U-vormige buis hebben een lengte van 48 cm en 40 cm . De inwendige doorsnede van de buis is overal 2 cm^2 . De buis is zo opgesteld, dat de benen verticaal staan (zie afbeelding 5). In het korte been wordt zoveel water gegoten, dat het oppervlak 12 cm onder de