

Arbeid. Vermogen

1

Arbeid geleverd door een constante kracht

A

DEFINITIE

Het begrip 'arbeid' gebruik je in het dagelijks leven in verschillende betekenissen. Zo kan men met arbeid het volgende bedoelen: spierarbeid, moeite om iets te verrichten, enz. In de natuurkunde is de betekenis van dit woord veel enger, zoals uit de volgende voorbeelden zal blijken.

VOORBEELD 1 Een persoon probeert een halter op te tillen, maar slaagt er niet in.

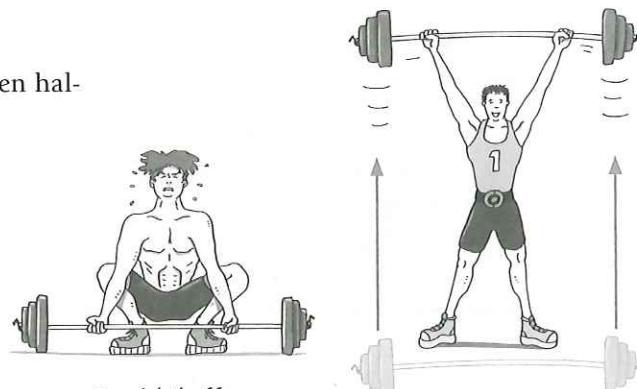


FIG. 4.1 Gewichtheffer

VOORBEELD 2 Een gewichtheffer probeert hetzelfde en slaagt er wel in.

In voorbeeld 1 wordt op de halter wel een kracht uitgeoefend, maar hij komt hierdoor niet in beweging. In de natuurkunde beschouwt men dit niet als een arbeid. In voorbeeld 2 wordt de halter onder invloed van de kracht wel verplaatst. In de natuurkunde zegt men dat hier wel arbeid geleverd wordt.

Essentieel is dat, om van arbeid te kunnen spreken, er onder invloed van de aangewende kracht, een verplaatsing van het lichaam moet gebeuren.

VOORBEELD 3 Een persoon brengt twee zakken cement, elk met een massa van 25 kg, ineens op zijn schouders drie meter hoog. Een tweede persoon brengt één dergelijke zak drie meter hoog. Vergelijk hun arbeid en motiveer.

De eerste persoon heeft dubbel zoveel gepriesterd, dus dubbel zoveel arbeid geleverd.

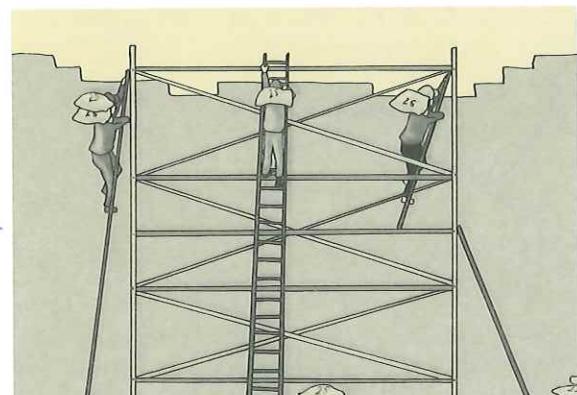


FIG. 4.2 Leveren van arbeid

VOORBEELD 4 De tweede persoon brengt nog een tweede zak op de gewenste hoogte. Vergelijk zijn totale arbeid met die van de eerste persoon.

Deze is nu dezelfde

Bij een even grote verplaatsing is de geleverde arbeid recht evenredig met de grootte van de aangewende kracht.

VOORBEELD 5 Een persoon brengt een zak cement van 25 kg drie meter hoog. Een andere persoon brengt een zak cement met even grote massa zes meter hoog. Vergelijk hun arbeid.

Tweede persoon heeft meer afgelegd, dus meer arbeid verricht.

VOORBEELD 6 De eerste persoon brengt nu de zak cement eerst drie meter hoog, en vervolgens nog drie meter hoog. Vergelijk zijn arbeid met die van de tweede persoon.

Deze is nu dezelfde

Bij een even grote kracht, is de geleverde arbeid recht evenredig met de grootte van de verplaatsing.

De mechanische arbeid W geleverd door een constante kracht \vec{F} wordt als volgt gedefinieerd:

- bij een verplaatsing Δx in de zin van de kracht, is de arbeid positief en gegeven door $[W = F \cdot \Delta x]$
- bij een verplaatsing Δx tegen de zin van de kracht in, is de arbeid negatief en gegeven door $[W = -F \cdot \Delta x]$

De SI-eenheid van arbeid is de joule: J

Afleiding:
$$\left. \begin{array}{l} [F] = N \\ [\Delta x] = m \end{array} \right\} \Rightarrow [W] = N \cdot m = J$$

GROOTHEID	SYMBOOL	EENHEID
Arbeid	W	$[W] = J$ (de joule)

Er wordt een arbeid van 1 J geleverd als een kracht van 1 N haar aangrijppingspunt verplaatst over 1 m in de zin van de kracht.

positief :

negatief :

B**GRAFISCHE BEPALING VAN DE ARBEID**

Als onder invloed van een constante kracht \vec{F} een massa vanuit rust een verplaatsing Δx ondergaat, dan wordt de arbeid gegeven door:

$$W = F \cdot \Delta x$$

In een $F(x)$ -diagram (figuur 4.3) wordt F voorgesteld door een rechte evenwijdig aan de x -as.

Werkt die constante kracht nu in over een verplaatsing Δx die op de x -as wordt voorgesteld door $|OA|$ dan is de getalwaarde van de oppervlakte van de rechthoek OABC gelijk aan de getalwaarde van de geleverde arbeid:

$$W = F \cdot |OA|$$

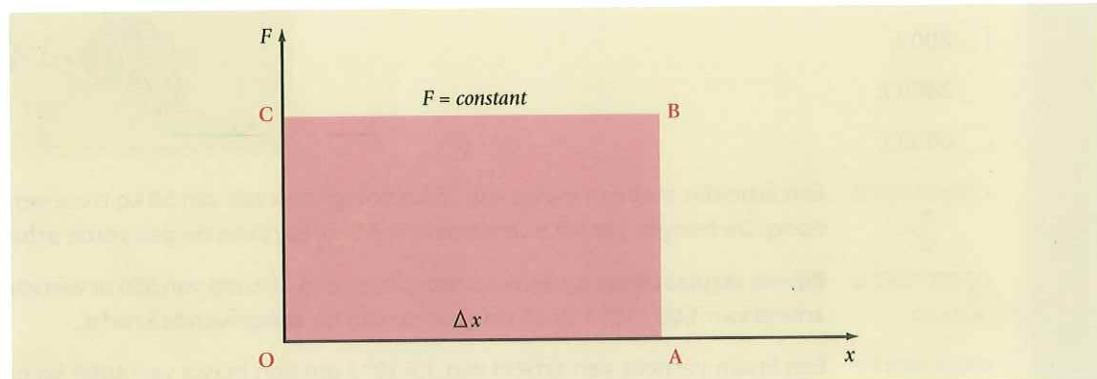
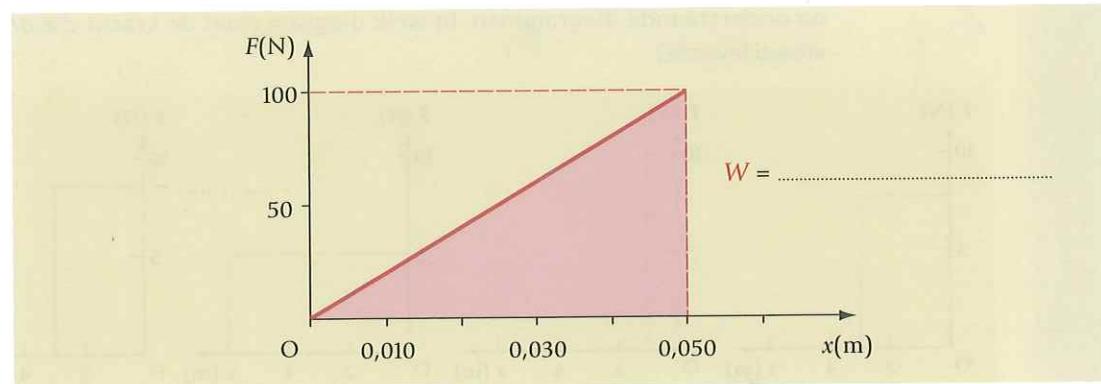


FIG. 4.3 Grafische bepaling van de arbeid bij een constante kracht

Ook voor een niet constante kracht is de geleverde arbeid te berekenen door middel van de oppervlaktemethode.

Bereken eens de arbeid voor het volgend geval:



Bij welk natuurkundig probleem heb je een dergelijk krachtverloop al bestudeerd?

Kerkrachr.

OPDRACHT 1 Vergelijk volgende prestaties onderling:

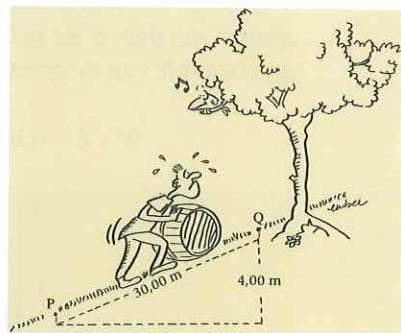
- Liliane staat met een zware boekentas in de hand tien minuten onbeweeglijk aan een bushalte te wachten.
- Marie-Christine draagt dezelfde boekentas vier verdiepingen hoog.

OPDRACHT 2 Een schaatsenrijder laat zich 'uitglijden'. Welke kracht levert er arbeid op hem? Is deze arbeid positief of negatief? Schets de situatie.

OPDRACHT 3 Een slee wordt met een horizontale kracht van 120 N over een afstand van 150 m voortgetrokken. Bereken de arbeid.

OPDRACHT 4 Een man duwt een vat met een massa van 120 kg van P naar Q. Hij duwt evenwijdig met de helling met een kracht van 200,0 N. Hoeveel arbeid verricht hij?

- 480 J;
 800 J;
 3600 J;
 6000 J.



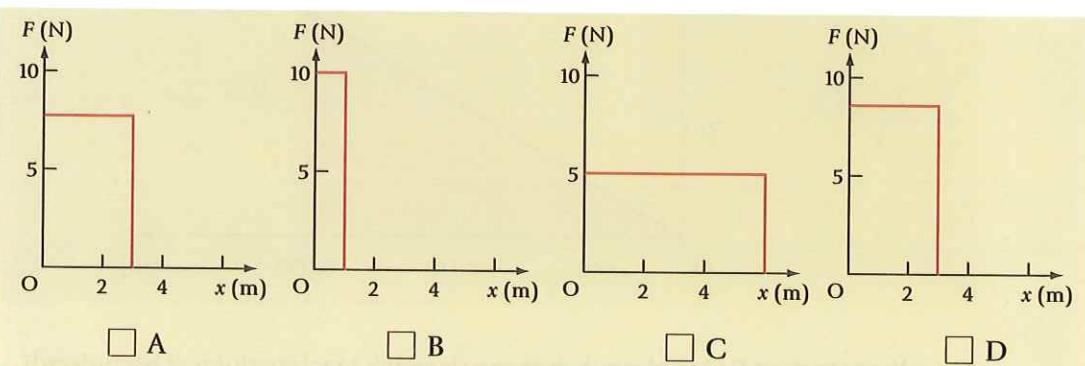
OPDRACHT 5 Een arbeider met een massa van 75 kg draagt een zak van 50 kg twee verdiepingen hoog. De hoogte van elke verdieping is 3,5 m. Bereken de geleverde arbeid.

OPDRACHT 6 Bij een verplaatsing van een voorwerp over een afstand van 550 m verricht men een arbeid van $1,00 \cdot 10^4$ J. Zoek de grootte van de aangewende kracht.

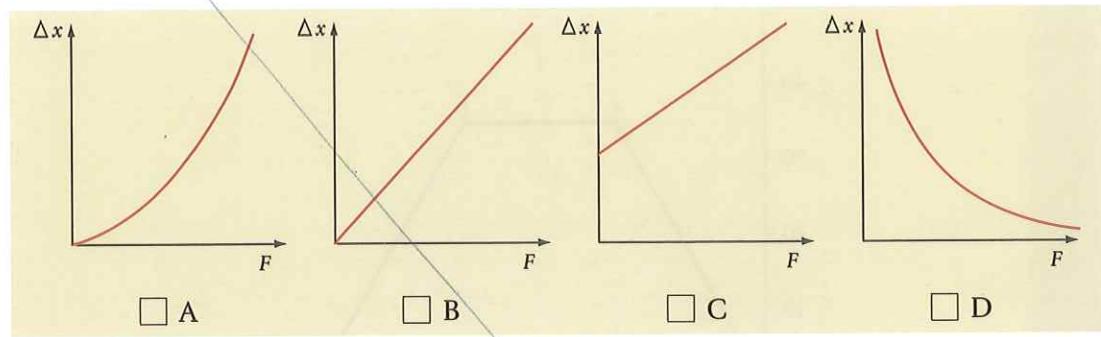
OPDRACHT 7 Een kraan verricht een arbeid van $3,6 \cdot 10^6$ J om een massa van 4000 kg op te tillen. Bereken de hoogte waarover de massa verplaatst werd.

OPDRACHT 8 Een massa van 102 g valt van een hoogte van 10,0 m verticaal op de grond. Van welke hoogte moet een massa van 204 g vallen opdat de zwaartekracht dezelfde arbeid zou leveren als op de massa van 102 g?

OPDRACHT 9 Op een voorwerp kunnen vier verschillende krachten aangrijpen. Het verband tussen de grootte van de kracht en de verplaatsing voor deze gevallen is weergegeven op onderstaande diagrammen. In welk diagram staat de kracht die de grootste arbeid leverde?

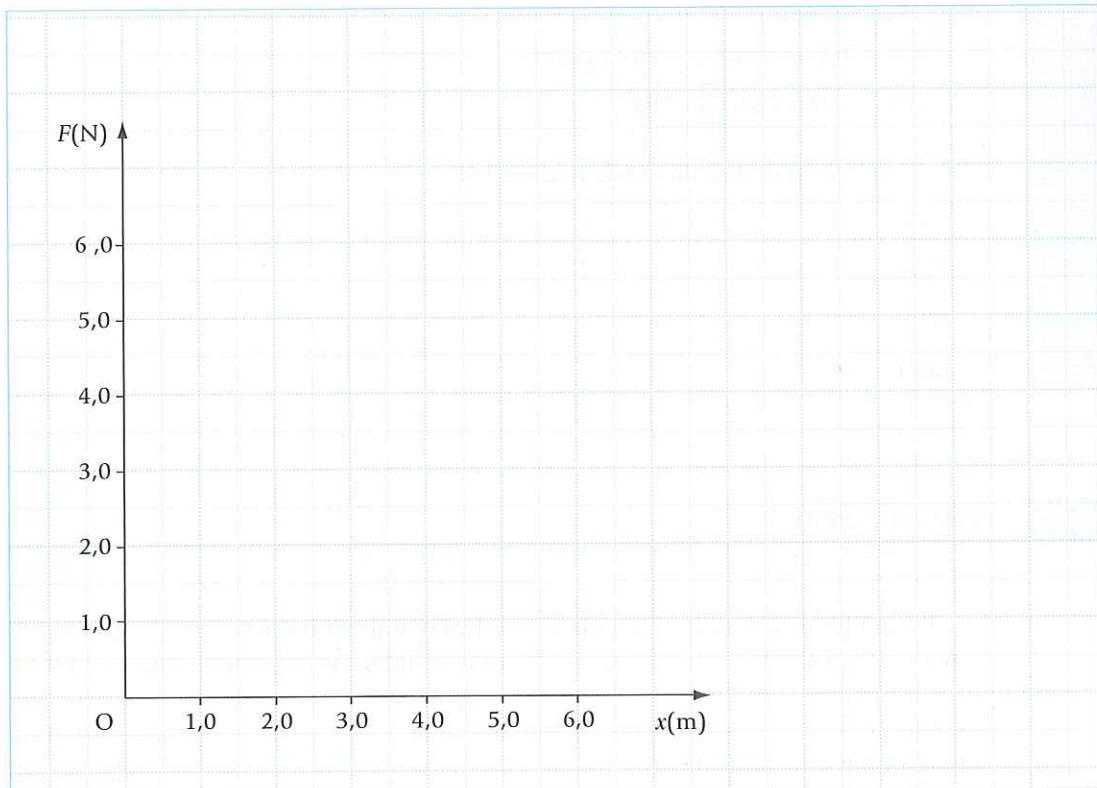


OPDRACHT 10 Op een massa werken achtereenvolgens vier niet constante krachten in. De bijhorende verplaatsing is zodanig dat de geleverde arbeid voor alle gevallen dezelfde is. Het verband tussen F en Δx wordt dan grafisch best weergegeven door:

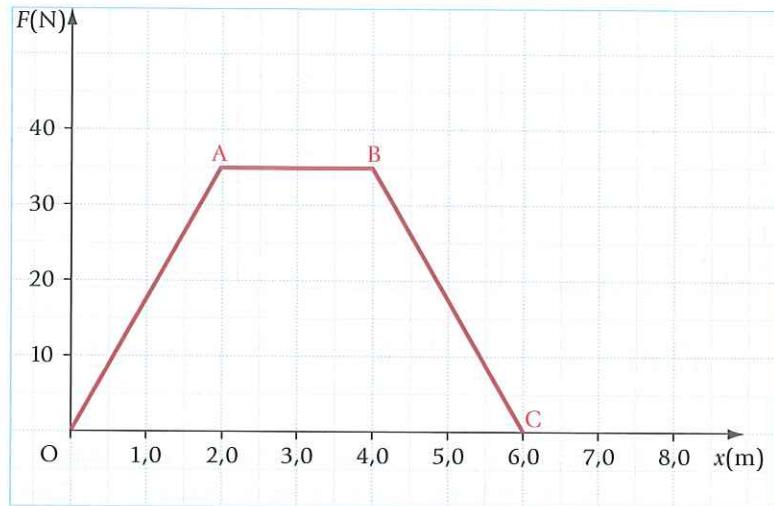


OPDRACHT 11 Een massa ligt op een rechte, op 2,0 m van de oorsprong. Vanaf een bepaald ogenblik werkt een kracht van 4,5 N op de massa in. Als deze zich op 6,0 m van de oorsprong bevindt verdwijnt de krachtwerking.

X Stel de kracht grafisch voor als functie van de afstand. Bepaal uit de grafiek de geleverde arbeid.



OPDRACHT 12 Op een massa werkt een kracht in. Het verband tussen F en x is op de figuur grafisch voorgesteld:



De massa heeft dan een versnelling:

- enkel in het gedeelte OA van de grafiek;
- enkel in het gedeelte AB van de grafiek;
- enkel in het gedeelte BC van de grafiek;
- in het volledig gedeelte OABC.

De door de kracht geleverde arbeid is gelijk aan:

- 0,0 J;
- 35 J;
- 70 J;
- 140 J.

2 Vermogen

In 4.1 werd het begrip arbeid gedefinieerd. In de praktijk interesseert men zich echter niet alleen voor de geleverde arbeid, maar ook voor de tijd waarin die arbeid geleverd wordt.

VOORBEELD Een persoon brengt 1000 kg bakstenen 3 m hoog in 2 h. Een hijskraan levert dezelfde prestatie in 10 min.

Vergelijk de geleverde arbeid.

Dezelfde want dezelfde prestatie.

Toch is er een verschil bij het leveren van deze arbeid. Waarin ligt het verschil?

Het tijdsinterval waarbinnen deze arbeid geleverd wordt

Om dit verschil duidelijk te doen uitkomen, voeren we een grootheid in, die niet alleen rekening houdt met de geleverde arbeid, maar ook met de tijd waarin deze arbeid verricht wordt. Deze nieuwe grootheid wordt *vermogen* genoemd.

Het vermogen P is de verhouding van de geleverde arbeid tot de tijd, waarin die arbeid geleverd werd.

In formulevorm wordt dit dus:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta x}{\Delta t}$$

De SI-eenheid van vermogen is de watt: W

Afleiding: $\left[W \right] = J$ $\left[\Delta t \right] = s$ $\Rightarrow [P] = \frac{J}{s} = W$

GROOTHEID	SYMBOOL	EENHEID
Vermogen	P	$[P] = W$ (de watt)

Een machine heeft een vermogen van 1 W wanneer ze in 1 s een arbeid levert van 1 J.

Hieruit volgt: $1 W = 1 \frac{J}{s}$

\rightsquigarrow lange

Veelvouden:

1 kilowatt (kW) = 10^3 W

1 megawatt (MW) = 10^6 W

Verder kunnen we afleiden dat:

$1 J = 1 W \cdot s$

Dit betekent dat een machine met een vermogen van één watt, na één seconde een arbeid geleverd heeft van één joule.

Grootteorde van enkele vermogens:

MENSELIJKE ACTIVITEITEN	VERMOGEN (kW)
Slapen	0,1
Wandelen	0,2 à 0,3
Lopen (16 km/h)	1,4
Zwemmen	0,8
Langdurige zware arbeid	0,6
Zware bergbeklimming	0,5 à 1

MACHINES	VERMOGEN (kW)
Auto (gemiddeld)	60 à 80
Stoomturbine	1000 (grootteorde)
Straalvliegtuig	1000 (grootteorde)
Mammoettanker	100 000 (grootteorde)

Vermogen en fiscaal vermogen van een auto

Hierbij moet je goed opletten dat je de zaken niet verwart.

- Het werkelijke mechanisch vermogen staat in de eenheid kW. Dit vermogen bepaalt o.a. hoe hoog onze verzekerspremie zal zijn.
- Daarnaast heb je ook nog het fiscale vermogen. Dit is geen fysische grootheid, maar een kunstmatige indeling bij wet vastgelegd op basis van de cilinderinhoud. Dit fiscale vermogen bepaalt de verkeersbelasting (jaarlijks te betalen) en de BIV (de 'belasting op inverkeerstelling': te betalen bij aanschaf van een nieuwe wagen). De eenheid is hier de fiscale pk.

Enkele voorbeelden:

	WERKELIJK VERMOGEN	FISCAAL VERMOGEN	VERKEERS- BELASTING*	BIV
1272 cc benzine	40 kW	7 pk	€ 155	€ 62
1.9 dTi diesel	72 kW	10 pk	€ 311	€ 123
1973 cc benzine	94 kW	11 pk	€ 344	€ 495
Turbo benzine	147 kW	15 pk	€ 659	€ 2478

*op 01/01/2007



FIG. 4.4 Vulkanen behoren tot de krachtigste natuurfenomenen. Tijdens de uitbarsting van de Krakatau (in de zeestraat tussen Java en Sumatra) stootte de vulkaan tussen 23 en 26 augustus 1883 maar liefst 18 km^3 gesteente uit! Dat komt overeen met een energie-ontwikkeling van $3,00 \cdot 10^{17} \text{ J}$ en een gemiddeld vermogen in de grootte-orde van 10^{12} W . Vergelijk dat eens met een elektrische centrale.

OPDRACHT 13 Een hijskraan brengt een last van $4,00 \cdot 10^4$ N tot op een hoogte van 90,0 m in 65 s.
X Bereken de geleverde arbeid en het vermogen.

OPDRACHT 14 Een eerste machine heft een last van 600 N 39,0 m hoog in 4,0 s. Een tweede machine heft een last van 1500 N 6,0 m hoog in 3,0 s. Welke van beide machines heeft het grootste vermogen?
thuis

OPDRACHT 15 Herleid volgende eenheden naar de grondeenheden:

X 1 Wh =

1 kWh =

Zijn dit eenheden voor vermogen of voor arbeid? Verklaar.

Bij het practicum op blz. 71 wordt van de eenheid kWh gebruik gemaakt.

OPDRACHT 16 Een metselaar met een massa van 65,3 kg klimt met 45,2 kg bakstenen op zijn schouder in 6,0 s 2,6 m op een ladder omhoog. Bereken de arbeid en het vermogen door die persoon geleverd.
thuis

OPDRACHT 17 Als een lift van 600 kg in 120 s uit een 400 m diepe schacht opgehaald wordt,
X bedraagt het vermogen van de motor:

- $2,40 \cdot 10^5$ W;
- $2,00 \cdot 10^3$ W;
- $1,96 \cdot 10^4$ W;
- $2,35 \cdot 10^6$ W.

OPDRACHT 18 Een hijskraan heeft een vermogen van 1472 W.

Blu in les Hoeveel tijd is er nodig om een hoeveelheid stenen met een totale massa van 300 kg 50,0 m omhoog te hijsen?

- 100 s;
- 0,10 s;
- 10,0 s;
- dit is niet te berekenen.

OPDRACHT 19 Een bergbeklimmer met een massa van 70,0 kg vertrekt voor een dagtocht met
thuis een totale uitrusting van 25,0 kg. Hij marcheert, rustpauzen niet meegerekend, gedurende 8,00 h. Bij het einde heeft hij een bergtop van 1650 m hoogte bereikt. Bereken het gemiddeld vermogen van de klimmer.

OPDRACHT 20 Op de steile stukken overwon onze bergbeklimmer soms 450 m hoogteverschil in 40,0 min. Welk vermogen ontwikkelde hij toen gemiddeld?
thuis

OPDRACHT 21 Een trein oefent een totale trekkracht van $4,00 \cdot 10^4$ N uit en sleept het stel in 2,00 h 425 km ver. Bereken:
X

- de totale arbeid tijdens de rit geleverd;
- het ontwikkelde vermogen;
- de prijs van deze rit, indien per kWh € 0,050 neergeteld moet worden.

Opmerk OPDRACHT 22 Bij een waterval van 75 m hoog dondert er 2500 m^3 water per seconde omlaag. Haar vermogen is dan gelijk aan ($\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$):

- $1,8 \cdot 10^9 \text{ W}$;
- $1,9 \cdot 10^5 \text{ W}$;
- $2,4 \cdot 10^4 \text{ W}$;
- $7,4 \cdot 10^2 \text{ W}$.



thuis OPDRACHT 23 Een schip beschikt over twee pompen met elk een vermogen van 15,0 kW. Deze pompen moeten water 7,50 m omhoogpompen om te verhinderen dat het schip zou zinken. Bereken het aantal liter water dat in één seconde het lek mag binnendringen.

OPDRACHT 24 Tijdens wedstrijden van gewichtheffen noteren we de volgende prestaties:

X

- Gewichtheffer 1 heft in 3,00 s een halter 1,80 m hoog.
De massa van die halter is 160 kg.
- Gewichtheffer 2 heft in 4,00 s een
halter 2,10 m hoog.
De massa van die halter is 140 kg.

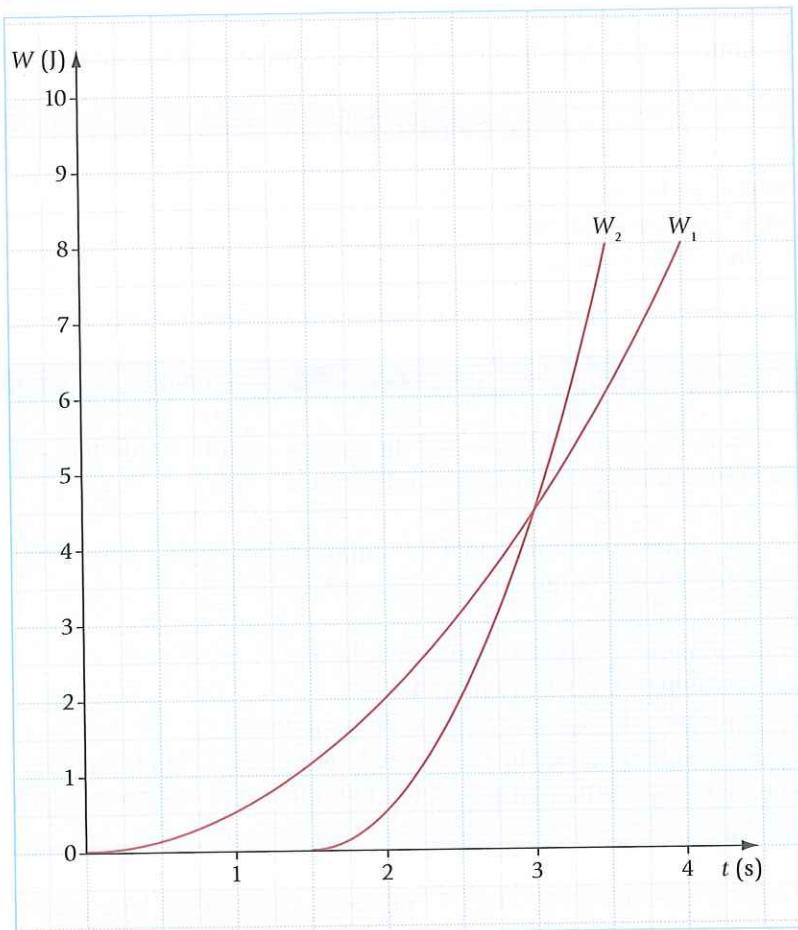
Gewichtheffer 1 wint dus de wedstrijd omdat hij de halter met de grootste massa heeft opgetild.

Bereken de arbeid van beide gewichtheffers, alsook hun geleverd vermogen.

Bespreek.



OPDRACHT 25 Twee constante krachten \vec{F}_1 respectievelijk \vec{F}_2 leveren een arbeid W_1 respectievelijk W_2 waarvan het verloop als functie van de tijd gegeven is in het onderstaand $W(t)$ -diagram.



De geleverde arbeid door de twee krachten is dezelfde:

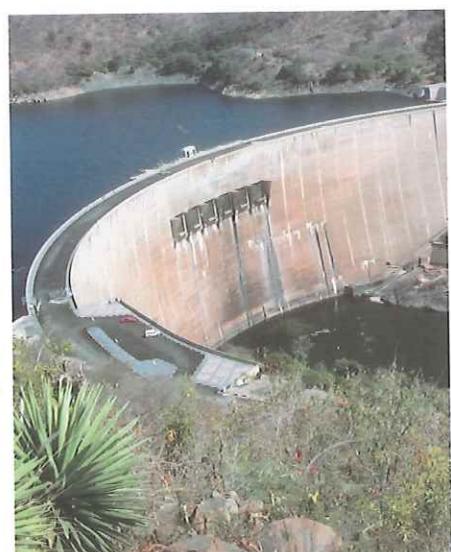
- 3 s na het inwerken van \vec{F}_1 ;
- 3,5 s na het inwerken van \vec{F}_1 ;
- 4 s na het inwerken van \vec{F}_1 ;
- 1,5 s na het inwerken van \vec{F}_1 .

Over het vermogen kan het volgende gezegd worden:

- \vec{F}_1 ontwikkelt een groter vermogen dan \vec{F}_2 ;
- \vec{F}_2 ontwikkelt een groter vermogen dan \vec{F}_1 ;
- \vec{F}_1 ontwikkelt hetzelfde vermogen als \vec{F}_2 ;
- de grafiek geeft geen informatie over het vermogen.

OPDRACHT 26 Het water in een bergmeer bevindt zich 750 m boven een elektrische centrale. Bereken het maximale vermogen, indien er $5,50 \cdot 10^4$ l per minuut door de turbines verwerkt kunnen worden.

met



Wat je moet kennen

- De definitie van arbeid.
- De definitie van vermogen.
- De formules, symbolen en SI-eenheden van arbeid en vermogen.

Wat moet je kunnen?

- De arbeid berekenen.
- De arbeid grafisch bepalen.
- Het vermogen berekenen.

Leertips

Het is belangrijk de hoofdzaak van de details te onderscheiden. Noteer zo beknopt en overzichtelijk mogelijk wat je moet leren.

Om van een groter leerstofgeheel het belangrijkste te benadrukken, kun je trefwoorden of zinsdelen markeren met een fluostift.

Hoe herhaal je een groter leerstofgeheel?

- Gebruik tabellen, diagrammen, cirkels.
- Maak een overzichtelijk geheel van de gegevens.
- Maak een lijst van de punten die je nog niet goed kent en duid ze aan in de tekst.
- Noteer naast elk punt waar je dat terugvindt in het leerboek.

Beroep: installateur verwarming

De *installateur van de centrale verwarming* berekent het vermogen van het verwarmings-toestel dat nodig is om de relatie 'goed rendement/laag verbruik' te optimaliseren. Voor een duurzaam gebruik en een zuinig verbruik zal hij de installatie regelmatig nazien en afstellen.



Energie

1

Definitie

VOORBEELD 1 Achter een stuwdam staat het water op een zeer hoog peil. Wat gebeurt er, als we een sluis in de dam openen? Wat zou er gebeuren bij het openen van de sluis, indien het water aan beide zijden even hoog stond?

*water stroomt naar beneden
niet*



FIG. 5.1 Stuwdam

VOORBEELD 2 Stilstaande lucht kan de wieken van een molen niet in beweging brengen; bewegende lucht, de wind, kan dat wel. Waarom?

*Bewegende lucht
brengt molen in
beweging*



FIG. 5.2 Molen

VOORBEELD 3 Iemand gaat bij koud vriesweer een lange wandeling maken. Als hij thuiskomt heeft hij honger als een paard en eet veel meer dan gewoonlijk. Waarom?

Hij is veel energie kwijt

Een lichaam bezit energie als het in de mogelijkheid is om arbeid te verrichten.

Bij de eerste twee voorbeelden was het voorwerp (het water, de lucht) in staat om arbeid te verrichten. Bij het voorbeeld van de wandelaar levert de persoon arbeid. Hij compenseert het energieverlies door voedsel op te nemen; in dit voedsel zit dus eveneens energie.

De eenheid voor energie is dus dezelfde als die voor arbeid: de joule (J).

GROOTHEID	SYMBOOL	EENHEID
Energie	E	[E] = J (de joule)

Veelvouden van de eenheid voor energie:

1 kJ = *10^3 J*

1 MJ = *10^6 J*

→ *energie: iets dat een voorwerp bezit*
arbeid: overdracht vld energie

Hoeveel energie heeft de mens nodig?

Hoeveel energie we nodig hebben is afhankelijk van verschillende factoren: leeftijd, massa, geslacht en de mate van lichamelijke inspanning.

Doorgaans wordt een onderscheid gemaakt tussen de energie die nodig is voor de essentiële levensprocessen als het lichaam in volledige rust verkeert (= de stofwisseling in rust) en die energie, die nodig is voor het verrichten van activiteiten. De energie voor de stofwisseling in rust is per individu tamelijk constant en is vooral afhankelijk van leeftijd, geslacht, massa en lichaamssamenstelling.

Het berekenen van de precieze energiebehoefte als functie van de verschillende factoren en de activiteitsgraad, is vrij ingewikkeld. Voor de begeleiding van een beroepsporter gebeurt dat best door een diëtist. Om zelf een benaderende schatting te maken geven we hier enkele normen die gelden voor mensen met geringe fysieke activiteit.

TABEL 1

DAGELIJKSE ENERGIEBEHOEFTEN IN kJ PER KG (IN RUST)		
Leeftijd	Mannen	Vrouwen
1 tot 4 jaar	385	370
4 tot 7 jaar	354	325
7 tot 10 jaar	300	275
10 tot 13 jaar	250	225
13 tot 16 jaar	205	185
16 tot 19 jaar	185	175
19 tot 22 jaar	170	155
22 tot 50 jaar	148	134
50 tot 65 jaar	135	126
> 65 jaar	126	120

TABEL 2

Per dag moet je voor mensen met een
- middelzwaar beroep 2 520 kJ bijtellen
- zwaar beroep 5 040 kJ bijtellen
- erg zwaar beroep 6 720 kJ bijtellen

Per trainingsuur moet je gemiddeld nog eens de volgende waarden bijtellen:

- krachtraining: 3 360 - 3 780 kJ
- duurtraining: 2 520 - 3 780 kJ
- techniek (bv. turnen): 2 100 kJ

Voorbeelden (gegevens zie tabellen):

- Energiebehoefte van een 15-jarige jongen van 60 kg die niet aan sport doet:
 - Basisbehoefte: $205 \text{ kJ/kg} \cdot 60 \text{ kg} = 12\,300 \text{ kJ}$
 - Bijkomend: schoolzitten: 2 520 kJ

Totaal: 14 820 kJ

- Energiebehoefte van een 15-jarig meisje van 50 kg dat dagelijks 1 uur fietst:
 - Basisbehoefte: $185 \text{ kJ/kg} \cdot 50 \text{ kg} = 9\,250 \text{ kJ}$
 - Bijkomend: schoolzitten: 2 520 kJ
 - duurtraining: 3 000 kJ

Totaal: 14 770 kJ



Bergsport vergt veel energie

2

Verschillende energievormen

A

MECHANISCHE ENERGIE

VOORBEELD 1 Hang aan een spiraalveer een massa, trek ze naar omlaag, houd ze vast. Is deze veer nu in staat om arbeid te verrichten? Verklaar.

Ja, want door de uitrekking is er kracht die arbeid levert na loslaten => bezit dus energie

VOORBEELD 2 Span een boog door op depees een kracht uit te oefenen. Is het geheel boog-pees nu in staat om arbeid te leveren? Verklaar.

Ja,



FIG. 5.3 Gespannen boog

VOORBEELD 3 Leg een houten blok op de rand van de lessenaar. Duw het voorzichtig over de rand. Wat gebeurt er? Verklaar. Is hier ook een spankracht aan het werk? Kan het blok ook arbeid leveren?

VOORBEELD 4 Een geweerkogel wordt afgeschoten en dringt in een hoop zand. Wat is hier de oorzaak van de arbeidslevering?

VOORBEELD 5 Op welk principe steunt de werking van een watermolen?

Stromend water

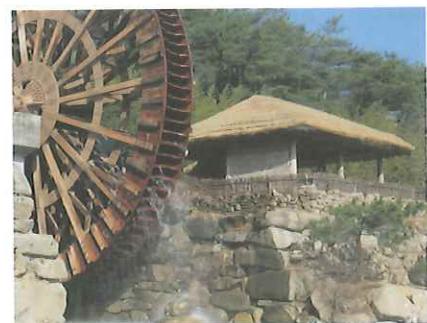


FIG. 5.4 Oude watermolen

VOORBEELD 6 Verklaar wat er precies gebeurt als men een hamer voortdurend heen en weer beweegt en op de kop van een spijker laat terechtkomen.

Bewegende hamer beweegt spijker en levert el dus arbeid op.

- De voorwerpen uit voorbeelden 1, 2 en 3 zijn in staat arbeid te leveren tengevolge van hun spanningstoestand of hun plaats. = TOESTAND
- De voorwerpen uit voorbeelden 4, 5 en 6 zijn in staat arbeid te leveren door het feit dat ze bewegen.

Dit zijn voorbeelden van *mechanische energie*. Uit de voorbeelden blijkt, dat er twee vormen van mechanische energie bestaan:

toestand

Potentiële energie, als gevolg van de plaats, of de spanningstoestand van het voorwerp;

Kinetische energie, als gevolg van de beweging van het voorwerp.

Symbolen: potentiële energie: $E_p \rightarrow$ wordt berekend door arbeid te berekenen
kinetische energie: E_k

Reel de mogelijkheid om te worden in kinetische energie

Elastische potentiële energie

Een uitgerekte veer bezit *elastische* potentiële energie. Deze energie is gelijk aan de arbeid door de kracht geleverd om de veer een verlenging Δl te geven.

Volgens de wet van Hooke neemt F lineair toe (figuur 5.5):

$$F = k \cdot \Delta l$$

We maken gebruik van de grafische methode om de arbeid te bepalen. De getalwaarde van deze geleverde arbeid is gelijk aan de getalwaarde van de oppervlakte van driehoek OAB:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \cdot |OA| \cdot |AB| = \frac{1}{2} \cdot |AB| \cdot |OA| \\ &= \frac{1}{2} \cdot F \cdot \Delta l \\ &= \frac{1}{2} \cdot (k \cdot \Delta l) \cdot \Delta l \end{aligned}$$

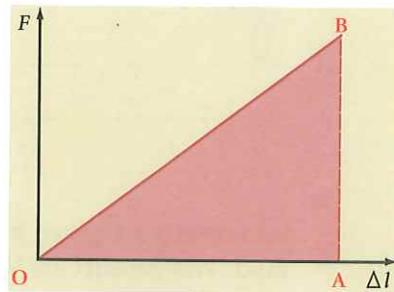


FIG. 5.5 Berekening van de elastische potentiële energie

De veer bezit dus een elastische potentiële energie: $E_p = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$

Gravitatie-potentiële energie

Om de potentiële energie van een lichaam ten opzichte van het aardoppervlak te berekenen, maakt men gebruik van de volgende regel. *De gravitatie-potentiële energie is gelijk aan de arbeid die op het lichaam geleverd wordt om het vanop het aardoppervlak tot op een hoogte h te brengen.*

Zo zal (figuur 5.6) de arbeid, nodig om een lichaam met massa m , onder invloed van een kracht \vec{F} , tot op een hoogte h op te tillen tegen de zwaartekracht \vec{F}_z in, gelijk zijn aan:

$$\begin{aligned} W &= F \cdot h = F_z \cdot h \\ W &= m \cdot g \cdot h \end{aligned}$$

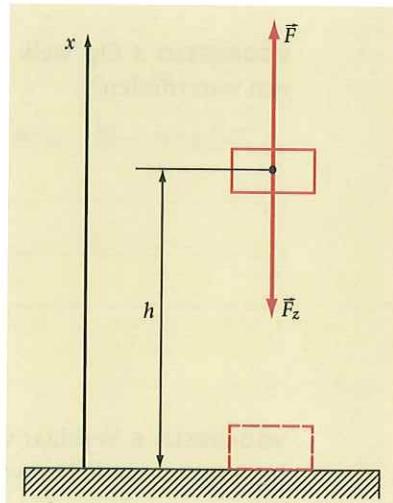


FIG. 5.6 Afleiding formule gravitatie-potentiële energie

Het lichaam bezit dus een gravitatie-potentiële energie: $E_p = m \cdot g \cdot h$

Kinetische energie

Een bewegend lichaam is in staat zijn kinetische energie om te zetten in arbeid. Denk maar aan een rijdende trein: die is in staat om een stootbuffer in te duwen (figuur 5.7). Daarbij kunnen we waarnemen:

- dat bij twee treinen die dezelfde snelheid hebben, een zware trein de stootbuffer meer indrukt dan een lichtere trein;
- dat eenzelfde trein de stootbuffer meer indrukt bij hogere snelheid dan bij lagere snelheid.

De kinetische energie hangt dus af van de massa en van de snelheid.

In de hogere leerjaren zal aangetoond worden dat de kinetische energie gegeven is door:

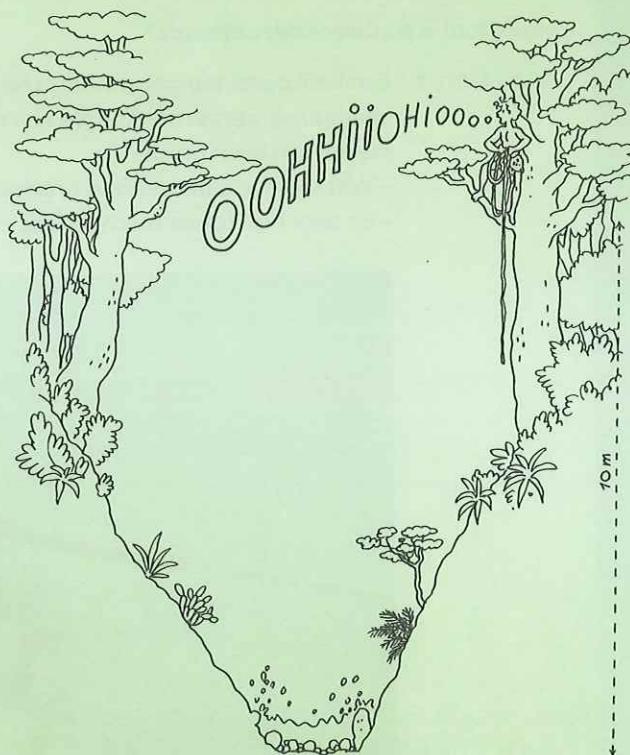


FIG. 5.7 De stootbuffer vangt de schokken op tussen twee wagons

$$E_{tot} = E_p + E_k \rightarrow \text{Totale mechanische energie}$$

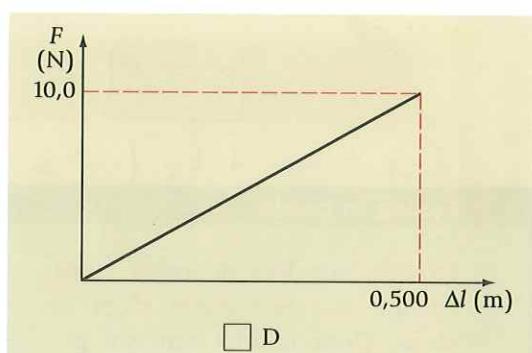
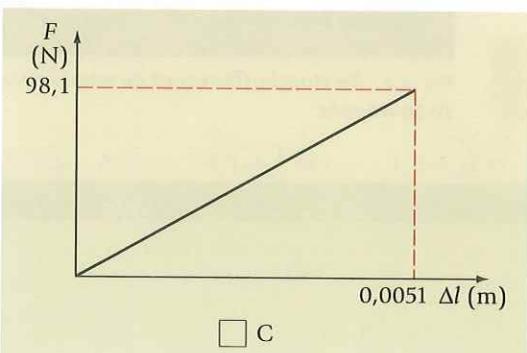
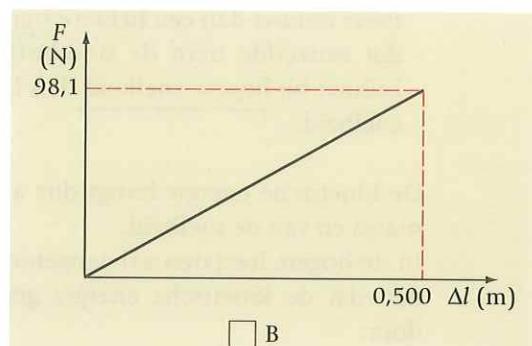
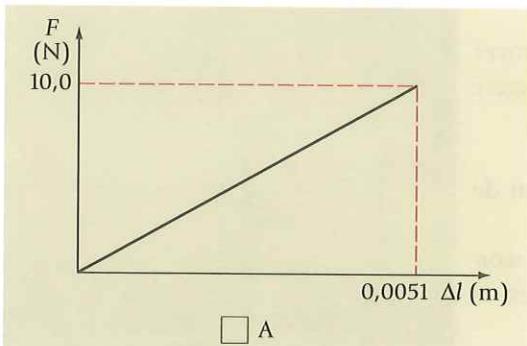
Fysica in beeld

Op zijn weg door de jungle komt Tarzan voor een diepe kloof te staan. Door middel van een geschikte liaan kan hij zich over de kloof slingeren tot op een tak die juist dezelfde hoogte heeft als die waarvan hij vertrekt. Als Tarzan na zijn sprong op die tak tot rust komt, is zijn potentiële energie dan gelijk aan die van net voor de sprong?



OPDRACHT 1 Om een veer 2,0 cm te vervormen is een kracht nodig van 0,14 N. Bereken de elastische potentiële energie in de veer.

OPDRACHT 2 Een emmer met 10,0 kg water wordt op een veerbalans geplaatst. De veerconstante bedraagt 196,2 N/m. De elastische potentiële energie is dan correct te berekenen met behulp van figuur:



Hoe groot is trouwens deze energie?

OPDRACHT 3 Een helikopter hangt op 1000 m hoogte stil boven de zee. Op een bepaald ogenblik vliegt er op eenzelfde hoogte een sportvliegtuig voorbij. De massa's van beide toestellen zijn even groot.

- Wat weet je dan over hun gravitatie-potentiële energie?
- En over hun totale mechanische energie?

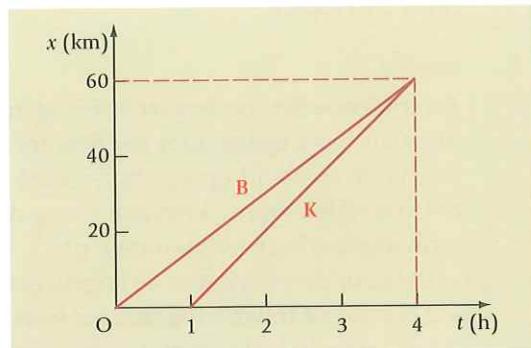


OPDRACHT 4 Piet rijdt met zijn auto ($m = 750 \text{ kg}$) tegen 90 km/h.

- Bereken de kinetische energie van de wagen.
- Van op welke hoogte moet men een autowrak van 750 kg loslaten om het met de snelheid van 90 km/h op de grond te zien vallen? Verwaarloos de wrijving met de lucht.

OPDRACHT 5 Bart en Koen hebben woensdag-namiddag vrij. Beiden gaan fietsen, maar Koen (K) vertrekt één uur later dan Bart (B). De figuur geeft de $x(t)$ -grafiek van beide fietsers weer.

Bart en Koen hebben een identieke massa. Dan zal de kinetische energie van Bart, nadat Koen vertrokken is:



- steeds groter zijn dan deze van Koen;
- steeds gelijk zijn aan deze van Koen;
- steeds kleiner zijn dan deze van Koen;
- enkel bij de aankomst na 60 km dezelfde zijn als deze van Koen.

OPDRACHT 6 De school en het huis van Wendy liggen in dezelfde straat. Als Wendy te voet naar school gaat doet ze er 6,0 min over; met de fiets 2,0 min.

Als ze te voet gaat heeft ze een kinetische energie E_{kv} ; met de fiets is deze E_{kf} . Dan is:

$\frac{E_{kv}}{E_{kf}} = \frac{1}{3};$

$\frac{E_{kv}}{E_{kf}} = \frac{1}{9};$

$\frac{E_{kv}}{E_{kf}} = 3;$

- deze verhouding niet te berekenen daar de massa van Wendy niet gekend is.

Fietsen of joggen?

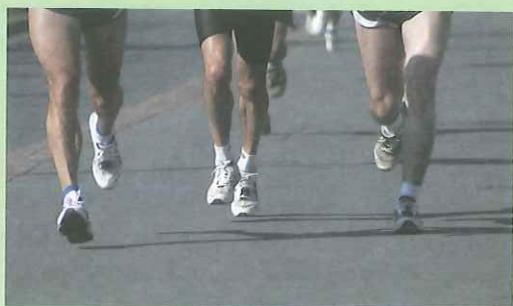
Iedereen kan wel een kilometer fietsen, maar diezelfde afstand joggen valt veel zwaarder. Waarom is fietsen zo veel makkelijker dan lopen?

FIETSEN

Een rijdende fiets ondergaat wrijving met de lucht en het wegdek. Om die fiets met een constante snelheid op een horizontale weg te laten rijden zijn er krachten nodig die de wrijvingskrachten overwinnen, nl.:

- 1 N voor de wrijving in de kogellagers;
- 2 N voor de rolwrijving met het wegdek;
- 1 N voor de luchtweerstand bij een snelheid van 8 km/h.

De totale stuwwerk die nodig is om de fiets op die snelheid te houden is dus 4 N. Om één kilometer af te leggen moet je 4 kJ arbeid verrichten. Verdubbel je de snelheid dan wordt de luchtweerstand viermaal groter. De geleverde arbeid is dan 7 kJ. Wordt je snelheid driemaal groter dan wordt de luchtweerstand 9 keer groter en de geleverde arbeid 12 kJ. De fietser heeft bij hoge snelheden het grootste deel van zijn energie nodig om de luchtweerstand te overwinnen.



JOGGEN

Lopen is in zijn simpelste vorm te herleiden tot twee bewegingen:

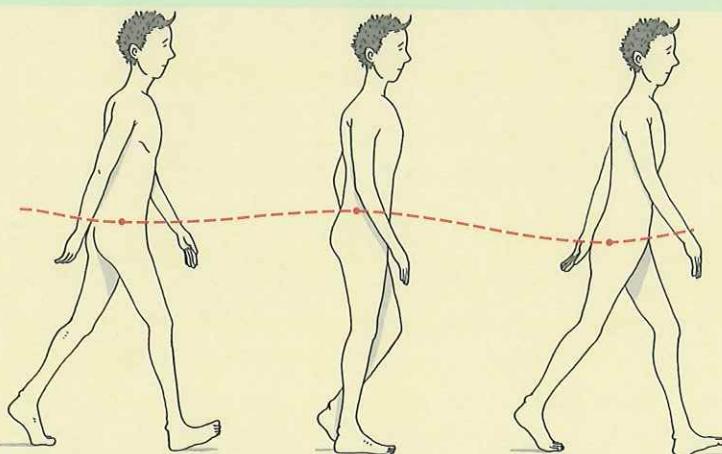
- een horizontale waarbij de wandelaar zijn massa van het ene naar het andere punt verplaatst;
- een op-en-neergaande beweging.

Tekens wanneer het menselijk lichaam over het steunbeen naar voren komt, wordt het lichaamszwaartepunt opgetild. Dit vraagt veel energie.

Voor een persoon met een massa van 70 kg en een opwaartse verplaatsing van zijn lichaamszwaartepunt met 15 cm bedraagt dit voor elke stap 103 J ($E_p = 70 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \text{ J}$). Wanneer je voet de grond raakt, gebruik je deze energie voor voorwaartse verplaatsing, en gaat een deel verloren in warmte en geluid. Al jogend door het park doe je ongeveer 925 stappen in een kilometer, en verbruik je dus 95 kJ, 8 keer de energie die je nodig hebt om dezelfde afstand met een snelheid van 24 km/h te fietsen.

Fietsen is dus wezenlijk veel minder inspannend dan lopen.

Verplaatsing van het zwaartepunt tijdens het lopen



B

WARMTE

PROEF 1 In een meetspuit of een fietspomp, waarvan de uitlaat gesloten is, staat de zuiger halfweg. Je verwarmt langzaam de ingesloten lucht.

Waarneming:

PROEF 2 Uit een cirkelvormig stuk papier snijden we een spiraal. We plaatsen de spiraal met haar middelpunt op een naald. We houden een kaarsvlam onder de spiraal.

Waarneming:

Warmte is een vorm van energie: ze kan omgezet worden in mechanische energie.



FIG. 5.8 Bij een stoomtrein werd warmte omgezet in kinetische energie



FIG. 5.9 Bij een elektrische trein wordt elektrische energie omgezet in kinetische energie

C

ELEKTRISCHE ENERGIE

PROEF Schakel een elektrisch treintje op een accu of een andere stroombron.

Waarneming:

De accu levert een elektrische stroom. De accu bezit een energievorm die we *elektrische energie* noemen. Deze energie kan omgezet worden in mechanische energie.

De wind levert 'schone' energie



In een elektriciteitscentrale wekt men energie op in een generator door hem te doen draaien. Daarvoor is kracht nodig die onder andere door de wind geleverd wordt. Zo kan windenergie de wieken van een molen of de rotor van een turbine in beweging brengen. Elektrische energie verkrijg je door aan de rotor een generator te koppelen, die gelijkspanning of wisselspanning produceert.

In een windmolenpark zijn er meerdere windturbines. Ze staan gewoonlijk op een lijn en zeker op voldoende afstand van elkaar. Anders zouden ze elkaar hinderen

door de turbulenties die hun enorme propellers veroorzaken. Windturbines hebben veel voordelen; wind is een zuivere energiebron en is onuitputtelijk; in de meeste 'lage landen' is hij bijna altijd voorhanden. Moderne windturbines werken al vanaf windkracht drie beaufort. Toch stuit hun gebruik op enkele moeilijkheden. Omdat er momenteel nog maar weinig dergelijke turbines in werking zijn, zal de aanleg van windmolenparken heel duur zijn. Dan zijn er nog milieubezwaren, zoals lawaaihinder en gevaar voor overvliegende vogels.



PROEF 1 We strijken een lucifer aan.

Waarneming:

PROEF 2 We houden met een tangetje een stukje magnesiumlint in een bunsenvlam.

Waarneming:

PROEF 3 Waar haalt een auto zijn bewegingsmogelijkheid vandaan?



FIG. 5.10

PROEF 4 In een proefbuisje, half met water gevuld, gieten we voorzichtig wat zwavelzuur. Wat voel je?

Waarneming:

De energie in brandstoffen, in voedsel en in levende wezens noemen we *chemische energie*. Om deze vrij te maken, moet er een chemische reactie plaatsvinden waarbij de aard van de betrokken stoffen verandert.



FIG. 5.11 Gasgeiser



FIG. 5.12 Boiler

Voor de warmwatervoorziening in huis is energie nodig in de vorm van warmte. Die warmte is nodig om de temperatuur van het water te doen stijgen. Voor afwassen is water nodig met een temperatuur van zo'n 50 °C. Het energieaanbod bij deze verwarmingstaak hangt af van de gebruikte energieomzetter. Bij een gasgeiser (links) is dat chemische energie en bij een elektrische boiler (rechts) elektrische energie.

E**STRALINGSENERGIE**

PROEF 1 Een radiometer van Crookes bestaat uit een glazen ballon, waarin een zeer lage druk heert (figuur 5.13). Hierin kan rond een dunne as een zeer licht molentje, bestaande uit vier metalen plaatjes, draaien. De plaatjes zijn aan de ene zijde beroet, aan de andere zijde blinkend. We plaatsen dit toestel in het licht van de zon of van een gloeilamp.

Waarneming:

.....

.....

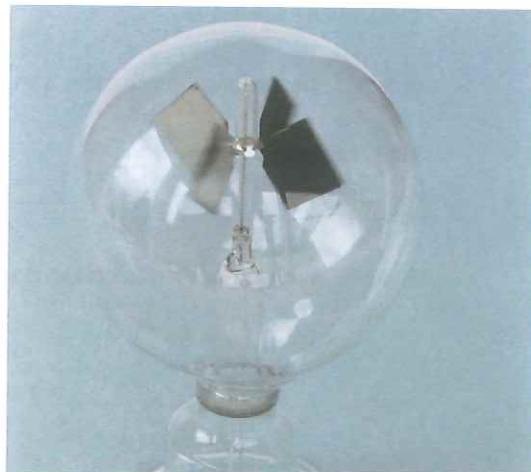


FIG. 5.13 Radiometer van Crookes

PROEF 2 Laat licht op een lichtmeter vallen.

Waarneming:

.....

.....

Licht is een energievorm: *stralingsenergie*. Deze kan omgezet worden in bewegingsenergie.

F**KERNENERGIE**

VOORBEELD 1 Hoe wordt de elektriciteit bij ons in centrales opgewekt? Geef de kenmerken van elke energievorm. Welke is de modernste, meest in discussie gestelde energievorm?

.....

.....

.....

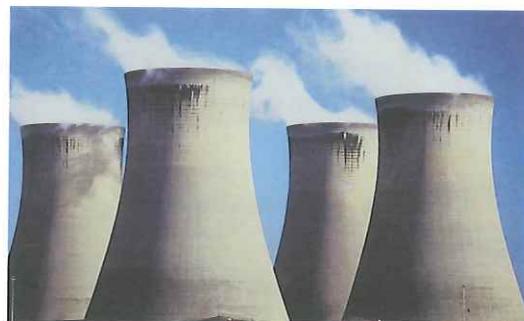


FIG. 5.14 Kerncentrale

VOORBEELD 2 Wat gebeurt er bij de explosie van een atoombom?

.....

.....

.....



FIG. 5.15

De energie, die vrij gemaakt kan worden uit het inwendige van het atoom, heet *kernenergie*.

Zonnecellen



Een zonnecel zet stralingsenergie van de zon om in elektrische energie. Om een voldoende vermogen te verkrijgen, groepeert men zonnecellen in panelen. Een zonnepaneel levert zo, afhankelijk van de afmetingen ervan, een vermogen van 10 à 50 W. Wie van een zonnecel gebruik maakt moet over een regelsysteem beschikken, om de niet direct gebruikte energie in een accu op te slaan. Dit systeem zorgt ook voor overschakeling op het gewone net bij onvoldoende zonneschijn.

In ontwikkelingslanden is dit vaak de enige manier om de elementaire behoeften in te

vullen zoals verlichting en het opwarmen van water. In onze streken zie je soms parkeermeters of informatieborden aan de bushaltes met een zonnepaneel. In plaats van het trottoir open te breken om aan te sluiten op het plaatselijke net is dat voordelijker voor het kleine verbruik. In Nederland plaatsten ze zonnepanelen in afgelegen gebieden. Meer dan 500 pompen voor drinkwatervoorzieningen van dieren werken met elektriciteit die door zonnepanelen opgewekt is.



Ten opzichte van de conventionele energiebronnen (olie, steenkool, uranium, gas) is zonne-energie onuitputtelijk en milieuvriendelijk: geen uitstoot, weinig behoefte aan grondstof voor installatie en onderhoud, duurzaam en ze kan in de bebouwde omgeving ingepast worden.

Het is een 'eigen' energiebron, niet afhankelijk van het buitenland. Ondanks de vele voordelen, zal zonne-energie de conventionele energiebronnen niet onmiddellijk verdringen.

3 Energieomzettingen

A BEGINSEL VAN BEHOUD VAN ENERGIE

Het wiel van Maxwell

Dit is een wiel, dat met zijn as aan twee touwtjes is opgehangen (figuur 5.16).

Welke energie bezit het wiel, als je het in de hoogste stand (touwtjes helemaal opgerold) onbeweeglijk houdt?

Gravitatieve potentiële energie



FIG. 5.16 Wiel van Maxwell

Je laat los. Wat gebeurt er?

Het wiel rijgt snelheid

Wat weet je over de energie als het wiel zijn laagste stand bereikt?

Het wiel bezit dan minder $E_{p,g}$ en meer E_k

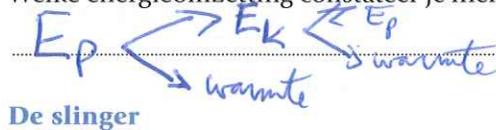
Wat gebeurt er vervolgens?

Het wiel gaat terug omhoog

Wat stel je na verloop van tijd, bij het opeenvolgend stijgen en dalen van het wiel vast? Verklaar.

Het wiel komt geleidelijk tot stilstand.

Welke energieomzetting constateer je hier? Stel ze op een schema voor.



We hangen aan een onuitrekbaar dun draadje een metalen bolletje op, en laten dit laatste om zijn evenwichtsstand heen en weer schommelen (figuur 5.17).

We onderzoeken, analoog met de voorgaande proef, de energie in de uiterste stand, in de laagste stand, en de energieomzettingen.

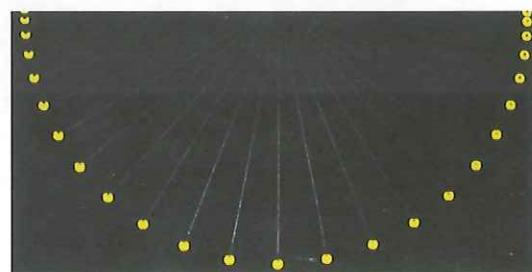


FIG. 5.17 Stroboscopische opname van een slinger

Wat gebeurt er na verloop van tijd met de uitwijking? Verklaar.

Deze wordt kleiner

Welke energieomzettingen gebeuren er hier? Stel ze op een schema voor.

Zelfde als wiel van Maxwell

Belaste veer

Aan een verticaal opgehangen veer hangen we een massa. We brengen deze laatste uit haar evenwichtsstand omlaag en laten ze vervolgens los. De massa schommelt op en neer (figuur 5.18).

Welke energieomzettingen vinden er plaats?
Stel schematisch voor.

$$\begin{array}{c}
 E_{p,e} \rightarrow E_{p,q,f}, E_k \rightarrow E_{p,H} E_{p,e} \\
 \downarrow \quad \downarrow \\
 E_k, E_{p,g} \rightarrow E_{p,e}
 \end{array}$$



FIG. 5.18 Schommelingen van een belaste veer



FIG. 5.19 Benjisprong

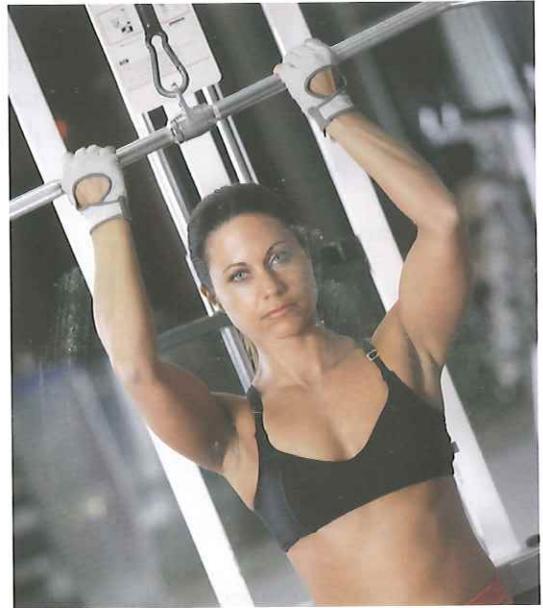


FIG. 5.20 Fitnessstoestel
Heel wat sporttakken gebruiken energieomzettingen

Fietsmagneto

Een fietsmagneto is op een statief bevestigd zoals op figuur 5.21. Een touwtje is enkele malen om het wielje van de magneto geslagen en er hangt een massa aan.

De contacten van de magneto zijn met een lampje verbonden. We laten de massa vanuit haar hoogste stand dalen.

Waarneming:

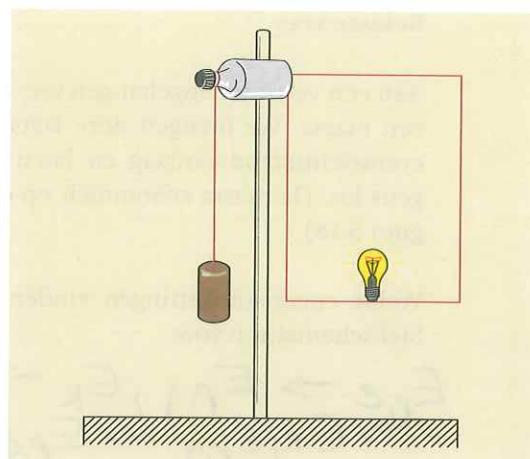


FIG. 5.21 Proef met magneto

Welke energieomzettingen vinden er plaats?

Loodaccumulator

In een bekerglas met verdund zwavelzuur brengen we twee loodplaatjes, die met een dun laagje loodoxide bedekt zijn (figuur 5.22). We verbinden de plaatjes enkele tijd met een stroombron. We verbreken daarna de verbinding met de bron, en verbinden de plaatjes nu met een lampje.

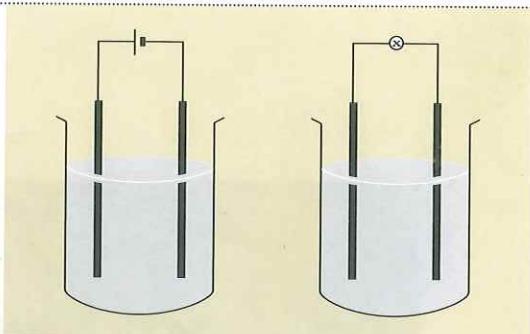


FIG. 5.22 Loodaccumulator

Waarneming:

Welke energieomzettingen vinden er plaats? Geef het schema.

Uit deze voorbeelden blijkt, dat energie van de ene vorm in de andere omgezet kan worden. Bij elke energieomzetting, en ook bij toestellen die energie omvormen, wordt steeds een gedeelte van deze energie omgezet in warmte die praktisch niet meer te gebruiken is. Deze warmte is een ontaarde vorm van energie.

Bij de omzetting van energie geldt het volgend beginsel:

'De som van de totale energie blijft ongewijzigd, welke energieomzettingen er ook plaatsvinden.'

Dit noem je het *beginsel van behoud van energie*.

In de af p. 67-68 veronderstellen we behoud van energie zonder omzetting in warmte.

OPDRACHT 7 Wat is de nuttige energie bij een gloeilamp of een TL-lamp?

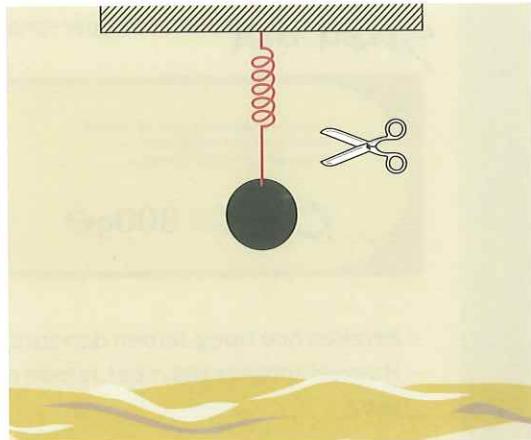
OPDRACHT 8 We hebben vier verschijnselen:

- I Het rollen van een biljartbal over het biljartlaken.
- II Het dalen van een parachutist.
- III Het vallen van een bal.
- IV Het wegrijden van een auto op een horizontale weg.

De potentiële energie verandert bij:

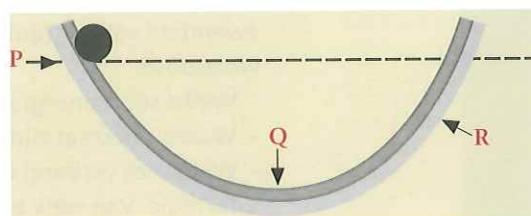
- I en II;
- II en III;
- III en IV;
- I en IV.

OPDRACHT 9 Een kogel hangt met een draadje aan een veer. We knippen het draadje door. De kogel ploft in het zand (zie tekening). Welke energieomzettingen hebben plaatsgevonden, als je alleen de kogel bekijkt?

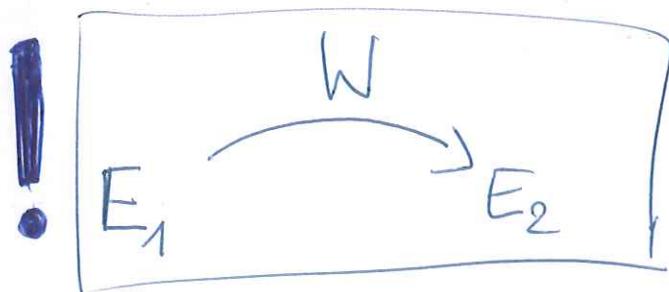


OPDRACHT 10 Je laat in een gebogen gordijnrail bij P een kogeltje los (zie tekening). Het kogeltje beweegt via punt Q naar punt R aan de andere kant.

Voor het kogeltje geldt dan:



DE POTENTIELE ENERGIE IS HET GROOTST IN		EN	DE KINETISCHE ENERGIE IS HET GROOTST IN
<input type="checkbox"/>	punt P		punt P
<input type="checkbox"/>	punt Q		punt R
<input type="checkbox"/>	punt R		punt Q
<input type="checkbox"/>	punt P		punt Q



OPDRACHT 11 Hyacinth laat een lamp van 100 W twee uur nodeloos branden. Hoeveel energie is er dan in deze 2,00 h verspild? Druk uw antwoord uit in kWh en in J.

OPDRACHT 12 Voor de verwarming van een huis gebruikt men jaarlijks $1578,4 \text{ m}^3$ aardgas. Bij de verbranding van 1 m^3 komt er 36,371 MJ vrij. De prijs per MJ bedraagt exact € 0,012. Wat kost de verwarming per jaar?

OPDRACHT 13 Jeroen is dol op chocoladerepen. In de figuur zie je de wikkels van zo een reep. Jeroen heeft een massa van 70,0 kg. Hij wil niet dikker worden door de chocolade. Hij besluit daarom om iedere dag touwtje te springen. Jeroen maakt sprongjes die hem 110 J per sprong kosten.

OPL
Smart school



- Bereken hoe hoog Jeroen dan springt.
- Hoeveel sprongjes moet Jeroen maken om de energie van 100 g van zo een reep op te gebruiken?

OPDRACHT 14 Een zwemmer laat zich vanop een hoogte van 10,0 m vanaf een duikplank in een zwembad vallen. Tijdens zijn valbeweging wordt de weerstand met de lucht verwaarloosd.

- Welke soort energie heeft de zwemmer, juist voor hij zich laat vallen?
- Waaruit bestaat zijn energie op het ogenblik dat hij in het water terechtkomt?
- Wat is het verband tussen deze twee vormen van energie? Druk dit uit door een formule. Van welk beginsel maak je gebruik?
- Met welke snelheid bereikt de zwemmer het wateroppervlak?

OPDRACHT 15 Een skater wil over een hoogte van 2,40 m gaan. Welke snelheid moet hij onderaan de ramp minstens hebben om de top te bereiken? Verwaarloos de weerstand met de lucht.



B

RENDEMENT

$$E_t \xrightarrow{E_n = \eta \cdot E_t} E_{mn} = (1-\eta) \cdot E_t$$

Naast de beoogde energievorm (nuttige energie) produceert een machine steeds een zekere hoeveelheid energie in de vorm van warmte.

VOORBEELD De totale hoeveelheid mechanische energie, nodig om een lift op te heffen, is $1,80 \cdot 10^5$ J. De elektriciteitsmeter duidt echter een verbruik van $2,00 \cdot 10^5$ J aan.

Hoeveel energie werd door het elektriciteitsnet aan de motor geleverd?

Hoeveel energie werd door de motor aan de lift geleverd?

Hoeveel energie is er in ontaarde vorm omgezet?

Wat is de verhouding tussen de nuttige energie en de totaal geleverde energie?

0,9

Men noemt rendement van een machine de verhouding van de nuttige energie E_n tot de totale energie E_t :

$$\eta = \frac{E_n}{E_t}$$

Tussen welke uiterste waarden kan het rendement liggen? 0 < η < 1
Het rendement van een toestel wordt ook dikwijls in procenten uitgedrukt. Wat zijn dan de uiterste waarden?

0% en 100%

Druk in procenten uit: $\eta = 0,35$ 35%; $\eta = 0,93$ 93%

Rendement van enkele toestellen en machines (%):

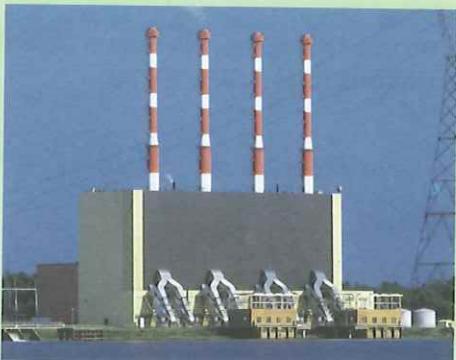
Gloeilamp	5-10	Stoomlocomotief	12
TL-lamp	45-70	Warmtecentrale	30
Benzinemotor	35	Hydro-elektrische centrale	80
Dieselmotor	40	Elektrische motor	90



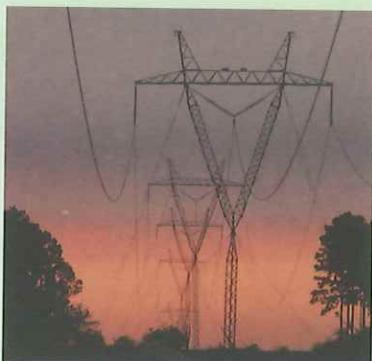
FIG. 5.23 Voor verlichting in huis worden vaak gloeilampen gebruikt. Het rendement van een gloeilamp is laag: 0,09 (of 9%); het grootste deel van de verbruikte energie gaat op in (meestal nutteloze) warmte. Het rendement van een tl-buis is veel hoger: 0,65 (of 65%). De tl-buis is ook met (ongeveer) de afmetingen van een gewone gloeilamp te verkrijgen en heet dan een spaarlamp. Het rendement van een spaarlamp is ongeveer 0,5 (of 50%). Dus: het elektriciteitsverbruik daalt als je een gloeilamp vervangt door een tl-buis of spaarlamp die dezelfde hoeveelheid licht geeft.

Practicum

Meten van het elektrisch vermogen



De elektrische energie wordt geleverd door elektrische centrales. Het is wellicht de meest gebruikte energievorm in de woning. De elektriciteitsproducent levert de energie via het net aan elke woning.



De gebruiker betaalt aan de producent de afgenoemde hoeveelheid energie. Daartoe plaatst de leverancier een meettoestel daar waar de netleiding de woning binnentreedt. Dit meettoestel ken je als de kilowattuurteller of elektrische-energiemeter.



In je woning heb je een netspanning van 230 volt. De meter geeft met een cijferaanduiding het aantal verbruikte kilowattuur (kWh). De kleinste aanduiding van die teller bedraagt meestal 0,1 kWh. Geen probleem voor huishoudens die voldoende grote hoeveelheden energie verbruiken in de loop van het jaar, maar voor dit practicum is dat niet nauwkeurig genoeg. Gelukkig heeft de meter ook een tweede aanduiding: een draaiend wiel onderaan de meter. Dat wiel draait wanneer je elektriciteit verbruikt, ook wanneer dat verbruik maar erg gering is. Op de meter is aangegeven hoeveel omwentelingen het wiel maakt per kWh. Dankzij een rode stip op de rand van het wiel kun je makkelijk het aantal omwentelingen tellen.



Met dit toestel meten we nu het vermogen van een huishoudelijk apparaat.

Voor wat komt is het onze bedoeling de kWh-meter te gebruiken om het elektrisch vermogen van huishoudelijke apparaten te bepalen.

Practicum

Let op: je werkt hier met netspanning! Neem dus alle nodige voorzorgen en volg precies de richtlijnen van je leerkracht op.

1 IJking van de teller

Om het aantal toeren van het wiel te kennen dat overeenkomt met het verbruik van 1 kWh van de teller, is deze gelijk. Dit aantal, stellen we voor door T_1 , en is op de teller aangegeven:

$$T_1 = \dots \text{toeren/kWh}$$

Met één toer komt dus een energie E_1 overeen van:

$$E_1 = \dots \text{kWh/toer} = \dots \text{J/toer}$$

2 Vermogen van het gekozen huishoudapparaat

Verbind het elektrisch huishoudtoestel dat je wil onderzoeken met de teller. Sluit dan de teller aan op de netspanning. Om de nauwkeurigheid van de meting te verbeteren tel je het aantal toeren T dat het wiel maakt gedurende een tijd t van bijvoorbeeld 120 s:

$$T = \dots \text{toeren in 120 s.}$$

De verbruikte elektrische energie E tijdens deze 120 s is dan: $E = T \cdot E_1$

$$E = \dots \text{J}$$

Bereken nu het vermogen van het apparaat. Geef eerst de formule die je daarvoor gebruikt.

$$P = \dots$$

$$P = \dots \text{W}$$

Op elk huishoudtoestel vermeldt de fabrikant op een plaatje de kenmerken van het toestel.

Welk vermogen is er op jouw apparaat vermeld?

$$P = \dots \text{W}$$

Hoeveel procent wijkt jouw resultaat daarvan af?

$$\dots \% \quad$$



3 Kost van het energieverbruik van dat huishoudapparaat

Voor een verbruik van 1 kWh betaal je zo een € 0,15. De juiste prijs vind je op een recente factuur. Deze prijs hangt onder meer af van de maatschappij die de elektriciteit levert. Als je het toestel gedurende één uur zou laten werken, hoe groot is de verbruikte energie dan?

$$E = \dots \text{J} = \dots \text{kWh}$$

Hoeveel moet je dan betalen?

$$\text{€} \dots$$

Brandstof besparen: winst voor iedereen

Om brandstof te besparen kun je drie dingen doen:

- minder energie verbruiken (lagere rijsneldheid, kleinere auto's met een betere stroomlijn, ...);
- de verbruikte energie beter doen renden in betere motoren;
- andere energie aanbieden. Dit laatste bespreken we hier.

Vliegwiel

Bij het optrekken verbruikt een auto brandstof om de *bewegingsenergie* te laten toenemen. Bij het remmen gaat die bewegingsenergie weer verloren in de vorm van warmteontwikkeling in het remssysteem. Vooral in het stadsverkeer gaat zo veel energie verloren niet alleen voor auto's, maar bijvoorbeeld ook voor bussen.

Een mogelijkheid om dat energieverlies op te vangen, is het gebruik van een groot en zwaar vliegwiel voor energieopslag. Het afremmen gebeurt dan niet met een 'normale' rem, maar door het vliegwiel aan het draaien te brengen. Met andere woorden: de bewegingsenergie van het voertuig wordt omgezet in bewegingsenergie van het vliegwiel. En daarna drijft het vliegwiel bij het optrekken het voertuig aan. Dat spaart brandstof bij het optrekken.

Elektrische auto

Het rendement van een elektromotor is veel hoger dan dat van een verbrandingsmotor. Als de elektriciteit wordt opgewekt met zon-

necellen is er een serieuze brandstofbesparing. Die zonnecellen kan men op het dak van de auto aanbrengen.

De waterstofmotor

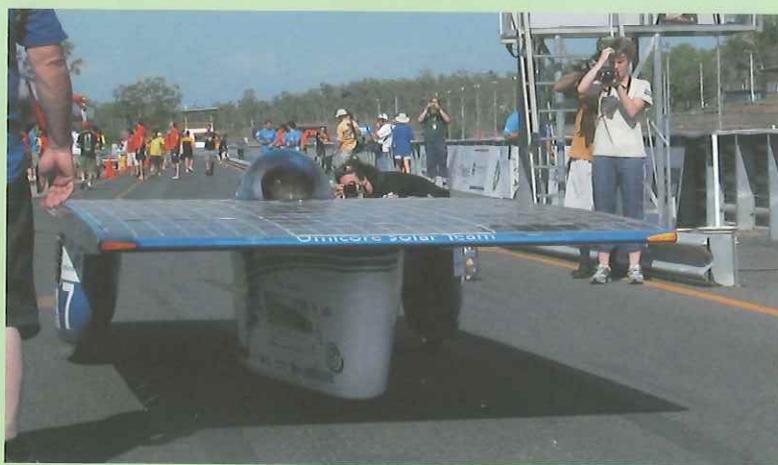
Een andere mogelijkheid voor het gebruik van duurzame energiebronnen in het verkeer is de productie van waterstofgas. De door zonnecellen of wind- en waterturbines geleverde elektriciteit gebruikt men voor de elektrolyse van water. Het waterstofgas dat daarbij ontstaat, is geschikt als motorbrandstof.

En het milieu vaart er wel bij!

Een draaiende verbrandingsmotor brengt luchtvervuilende stoffen in de atmosfeer. De soort en de hoeveelheid van die stoffen hangen af van de soort brandstof. De meeste auto's hebben tegenwoordig een katalysator om de uitstoot van luchtvervuilende stoffen te verminderen en rijden op loodvrije benzine. Door de ontwikkeling van nieuwe motortypes zoals hierboven vermeld, kunnen het brandstofverbruik en de uitstoot van luchtvervuilende stoffen in de toekomst nog wat verder afnemen.

HR-ketel

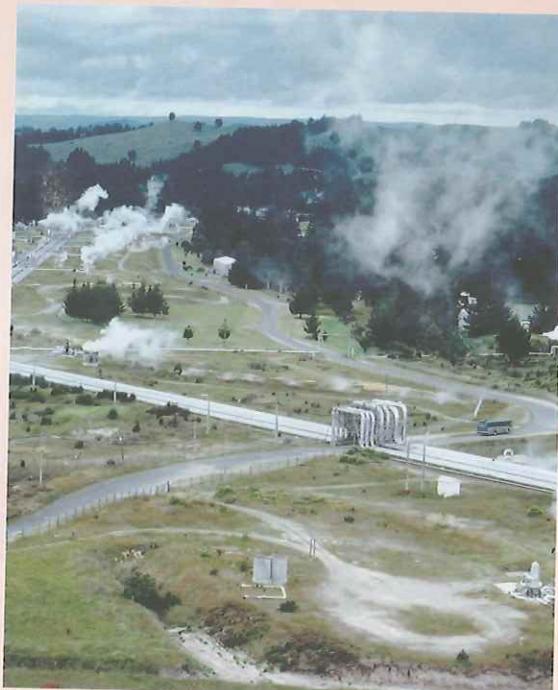
Het rendement van een gewone centraleverwarmingsketel is ongeveer 0,7 (of 70%). Een HR-ketel geeft minder warmte af via de schoorsteen. Het rendement van een HR-ketel is daardoor hoger: ongeveer 0,9 (of 90%). Dus: het brandstofverbruik daalt als je de gewone ketel vervangt door een HR-ketel.



- OPDRACHT 16** De totale mechanische energie geproduceerd tijdens een treinrit bedraagt $5,0 \cdot 10^6$ J. Als het rendement 90 % is, bereken dan de ontwikkelde elektrische energie.
- OPDRACHT 17** In de kerncentrale van Doel wordt kernenergie omgezet in elektrische energie. Het rendement van deze omzetting bedraagt 33 %. Hoeveel elektrische energie wordt er geproduceerd na 1,0 h als de kernreactor een vermogen heeft van 3000 MW?
- OPDRACHT 18** Wouter laat een voetbal vanop een hoogte van 2,05 m vallen. Hoe hoog stuit de bal terug als er tijdens de botsing met de grond 22,0 % aan energie verloren gaat?
- OPDRACHT 19** Een auto rijdt constant tegen 54 km/h. Na 1 min heeft hij $2,9 \cdot 10^5$ J chemische energie gedeeltelijk omgezet in $2,3 \cdot 10^5$ J mechanische energie.
- Waar is de rest van de energie gebleven?
 - Hoe groot is de afgelegde weg na 1 min?
 - Bepaal het rendement van de automotor.
 - Als de motor daarbij een kracht ontwikkelt van 250 N, hoe groot is dan de totale wrijvingskracht die hij tijdens het rijden ondervindt?

Beroep: geofysicus

Een *geofysicus* bestudeert onder andere de geothermie: de studie van de warmteverschijnselen die in de aarde optreden. Op nauwelijks enkele honderden meter onder het aardoppervlak kan de temperatuur van 200°C tot 300°C oplopen. Grondwater dat daar circuleert wordt verhit. De energie van dat kokende water of van de waterdamp kan als warmtebron benut worden of in elektrische energie getransformeerd worden. Met de voorraden die in onze planeet opgeslagen zijn, is de geothermische energie onuitputtelijk.

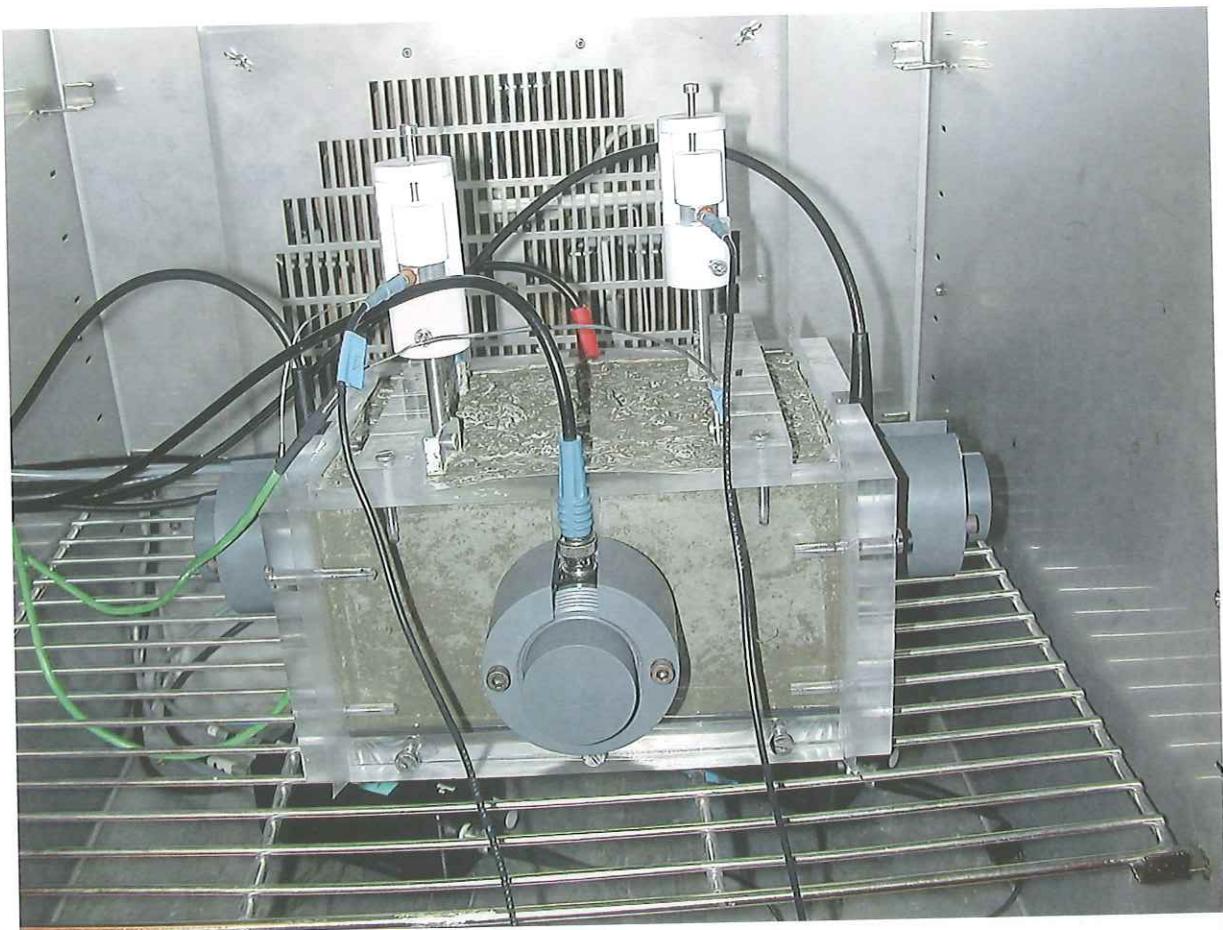


Wat je moet kennen

- Energie en de relatie met arbeid.
- De formule, het symbool en de SI-eenheid van energie.
- Verschillende energievormen.
- De formule van gravitatie-potentiële energie, elastische potentiële energie en kinetische energie.
- Het beginsel van behoud van energie.
- De definitie van het rendement van een machine.

Wat moet je kunnen?

- De gravitatie-potentiële energie, elastische potentiële energie en kinetische energie van een voorwerp berekenen.
- De totale mechanische energie van een voorwerp berekenen.
- Voorbeelden van verschillende energievormen en energieomzettingen geven.
- Het rendement van een machine berekenen.
- Experimenteel het vermogen en het rendement van een toestel bepalen.



Ook geluid is een energievorm. Met deze installatie wordt de geluidsenergie gebruikt om de mechanische eigenschappen van beton te onderzoeken. De energie wordt door de aan de zijkant geplaatste geluidsbronnen in het betonblok gestuurd.



Vloeistoffen en gassen

Water en lucht, twee van de vier elementen naast aarde en vuur, waarvan Aristoteles dacht dat de wereld was opgebouwd.

Voel je soms nattigheid? Geen zorg, ook al wordt het wel eens een vochtig en drukkend gedoe.

1 Het begrip druk

A DEFINITIE

PROEF 1 We plaatsen een balkvormige klinker, waarvan de zijvlakken een verschillende oppervlakte hebben, in verschillende standen op een weke onderlaag zoals schuimplastic. We gaan telkens na hoe groot de vervorming van de schuimplastic is (figuur 6.1).



FIG. 6.1 Klinker in verschillende standen op een oppervlak geplaatst

Waarneming:

Groot contactoppervlakte : weinig indrukking
Klein contactoppervlakte : veel indrukking

PROEF 2 We heffen een ijkmassa van bijvoorbeeld 4,0 kg met de hand op. Vervolgens tillen we ze door middel van een dunne draad op.

Waarneming:

1ste: gemakkelijk 2e: moeilijk, pijnlijk

PROEF 3 We nemen twee even dikke paaltjes, het ene stomp, het andere aangepunt. Met een hamer proberen we ze allebei in de grond te slaan.

Waarneming:

De aangepunte zal veel beter in de grond gaan.

De uitwerking van de kracht is verschillend naargelang van de grootte van het contactoppervlak waarover deze kracht verdeeld is.

Voor vervormbare middenstoffen vooral is het nuttig een nieuw begrip in te voeren: het begrip **druk** (figuur 6.2).

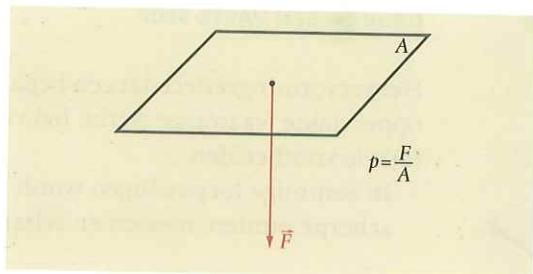


FIG. 6.2 Het begrip druk

De druk uitgeoefend op een lichaam is de verhouding van de grootte van de loodrecht op het lichaam uitgeoefende kracht tot de oppervlakte:

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

De SI-eenheid van druk is de pascal: Pa.

Afleiding: $[F] = N$

$$\left. \begin{array}{l} \\ [A] = m^2 \end{array} \right\} \Rightarrow [p] = \frac{N}{m^2} = \text{Pa}$$

GROOTHEID	SYMBOOL	EENHEID
Druk	<i>p</i>	$[p] = \text{Pa}$ (de pascal)

Als eenheden van druk worden ook vaak gebruikt:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mbar} = 10^{-3} \text{ bar} = 10^2 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$$

Voorbeelden van de orde van grootte van enkele drukken:

- dampdruk in een gloeilamp: 10^{-2} Pa;
- druk bloed in slagader: 10 kPa ... 17,5 kPa;
- druk inader: 0,6 kPa ... 1,2 kPa;
- druk in stoomketel: 500 kPa ... 3500 kPa;
- druk bij de losbranding van een kanon: $4 \cdot 10^8$ kPa.

Afgeleide formule: $F = p \cdot A$

of: de grootte van de drukkracht = druk · oppervlakte.

VOORBEELD De grootte van de kracht waarmee een zeilschip aangedreven wordt, neemt toe met de oppervlakte van het zeil. De winddruk daarentegen is een constante zolang de windsnelheid niet verandert.

Het vervormingseffect dat een bepaalde kracht op een lichaam uitoefent, is afhankelijk van de oppervlakte waarop ze werkt; het vervormingseffect hangt dus van de uitgeoefende druk af. Enkele voorbeelden

- In sommige toepassingen wordt het verkrijgen van hoge drukken beoogd: spijkers hebben scherpe punten, messen en scharen hebben scherpe lemmers, beitels, aangepunte paaltjes, ...
- Bij nog andere toepassingen is het gestelde doel juist de hoge druk te verminderen: gebruik van ski's en sneeuwschoenen om zich over de sneeuw te verplaatsen, tanks en baggercransen op rupsbanden, het leggen van planken op een pas gelegde vloer. Om iemand die door het ijs gezakt is te redden, legt men een brede plank of een ladder over het wak ...

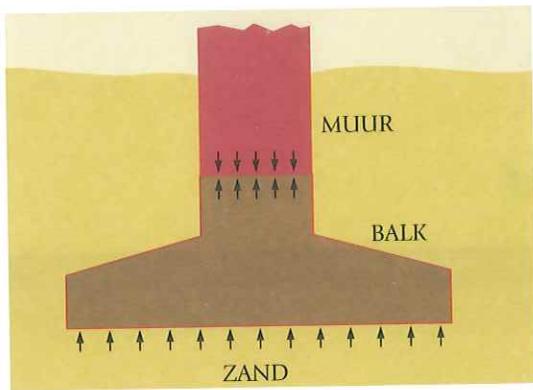


FIG. 6.3 Een gemetselde muur rust op een betonnen funderingsbalk. De balk heeft aan de onderzijde een groot oppervlak om de druk op het zand en dus ook de vervorming van het zand klein te houden. Het 'draagvermogen' van grondlagen wordt als een druk gegeven.

Zo is bijvoorbeeld het draagvermogen van

- grof zand: 200 tot 500 kPa
- fijn zand: 80 tot 100 kPa
- kleigrond: 200 tot 400 kPa
- veengrond: 25 kPa

Als de grootte van het steunvlak en de kracht die daarop wordt uitgeoefend bekend zijn, kan de druk worden berekend en vergeleken met het draagvermogen van de grondlagen



FIG. 6.4 Voetbalschoenen met noppen oefenen een grote druk uit en geven meer greep op de grond



FIG. 6.5 Dankzij rupsbanden kunnen zware tanks over een zachte ondergrond rijden



FIG. 6.6 De zwemvliezen van watervogels helpen bij het zwemmen, maar ook om niet in de modder weg te zakken

- OPDRACHT 1** Reken de gegeven drukken bij figuur 6.3 om naar mbar.
- OPDRACHT 2** Indien de oppervlakte van een naaldpunt op $0,010 \text{ mm}^2$ geschat kan worden, met welke druk wordt de naald dan in de materie gedreven als we er een kracht van 20 N op uitoefenen?
- OPDRACHT 3** Een persoon met een massa van 70 kg staat in de sneeuw op schoenen met een zooloppervlak van 280 cm^2 . Bereken de uitgeoefende druk. Hoe groot wordt de druk als hij op ski's met een totale bodemoppervlakte van 1500 cm^2 staat?
- OPDRACHT 4** Waarom worden onder treinsporen dwarsliggers gelegd? Waarom is de zool van een rail veel breder dan het loopvlak?
- OPDRACHT 5** Wie zal een parketvloer het meest beschadigen: een dame van 60,0 kg op twee naaldhakken met een oppervlakte van elk $1,20 \text{ cm}^2$, of een olifant van 4,00 ton die met een zooloppervlakte per poot van $9,0 \text{ dm}^2$ op de vloer staat?
- OPDRACHT 6** Bereken de druk, door een boekentas van 12,0 kg op je hand uitgeoefend, als het riempje dat op je hand duwt een contactoppervlakte van $8,0 \text{ cm}^2$ heeft.
- OPDRACHT 7** Piano's, fauteuils, kasten, worden vaak op glazen of houten plaatjes gezet. Waarom?

C

DRUK OP EEN VLOEISTOF

Voortplanting van de druk door een vloeistof. Beginsel van Pascal

PROEF 1 In een rond kolfje zijn over de hele oppervlakte gaatjes gemaakt. In de lange hals kan een zuiger op en neer glijden. We zuigen het kolfje vol water. Daarna drukken we met de zuiger het water naar beneden. (figuur 6.7).

Waarneming:

Water spuit langs alle kanten uit ballon.

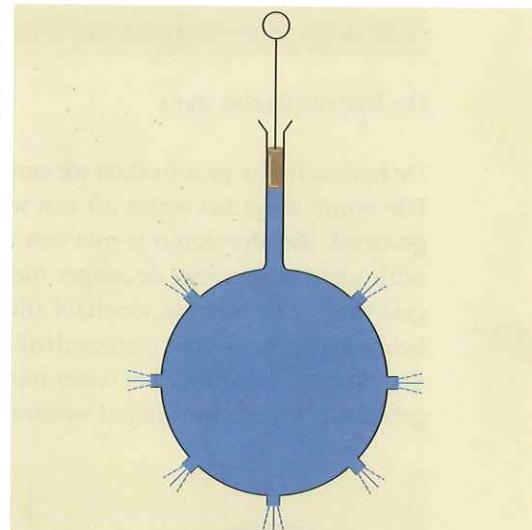


FIG. 6.7 Voortplanting van een druk in een vloeistof

Een druk, op een vloeistof uitgeoefend, plant zich in alle richtingen voort.

PROEF 2 Een cilindervormig glazen reservoir is bovenaan met een gummipeer afgesloten. Zijdelings is het vat op verschillende hoogten van vier buisjes voorzien met verticaal opgericht uiteinde. De buisjes zijn, samen met het reservoir, tot op eenzelfde hoogte met een gekleurde vloeistof gevuld. Langzaam oefenen we door samenpersen van de gummipeer op de vloeistof een druk uit (figuur 6.8).

Waarneming:

Water stijgt overal even hoog.

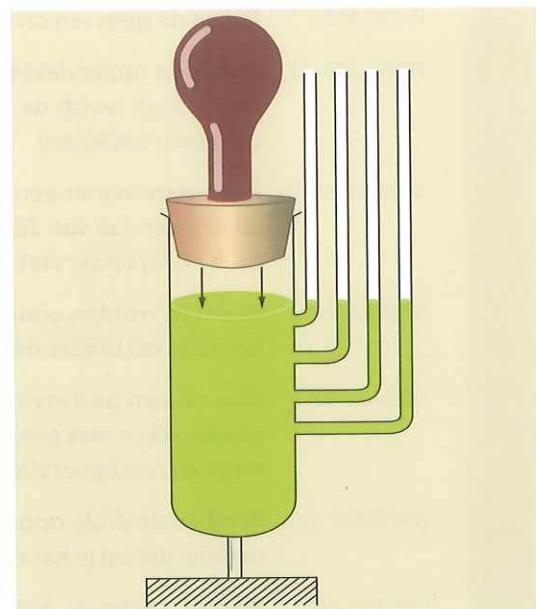


FIG. 6.8 Druk uitgeoefend op een vloeistof

De uitgeoefende druk is in alle punten van de vloeistof dezelfde

Deze twee besluiten kunnen we als volgt samenvatten in het beginsel van Pascal:

Een druk, uitgeoefend op een vloeistof, plant zich in alle richtingen ongewijzigd voort.

De hydraulische pers

De hydraulische pers bestaat uit een pomp, afgesloten door een zuiger met een oppervlakte A_1 . Die pomp zuigt het water uit een waterreservoir en dit wordt vervolgens naar een vergaarbak gestuwd, die afgesloten is met een zuiger met een oppervlakte A_2 (figuur 6.9 en 6.10). Bij het omhoogbewegen van de zuiger met oppervlakte A_1 wordt de klep k_1 geopend (klep k_2 blijft gesloten) waardoor de vloeistof uit het reservoir weggezogen wordt naar een ruimte tussen beide kleppen. Bij het omlaagdrukken van de zuiger opent de klep k_2 (klep k_1 sluit door de drukkracht) waardoor het water naar de vergaarbak onder de zuiger met oppervlakte A_2 wordt gestuwd. Deze bewerkingen worden voortdurend herhaald.

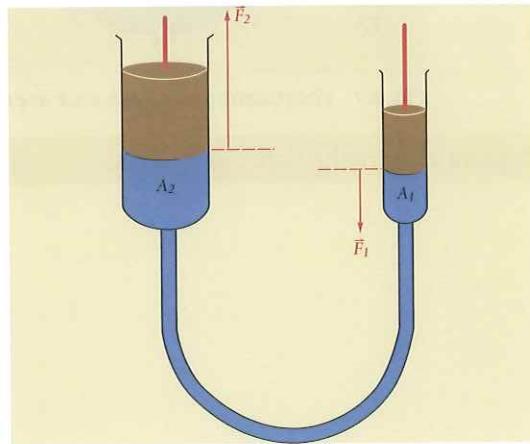


FIG. 6.9 Werking van de hydraulische pers

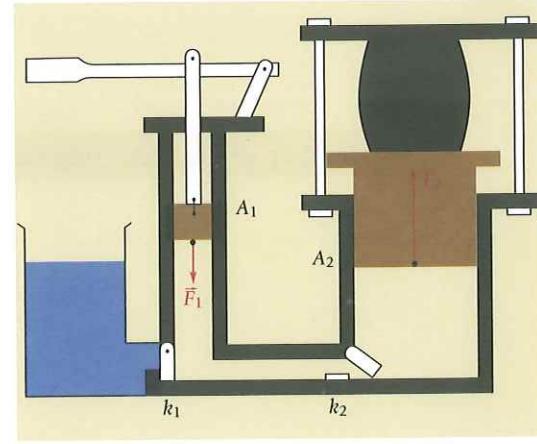


FIG. 6.10 Praktische uitvoering van de hydraulische pers