

Wat je moet kennen en kunnen aan het eind van blok 15

1 Je moet het begrip verbrandingswarmte kennen en daarmee berekeningen kunnen uitvoeren. [T1]

2 Je moet het begrip rendement kennen en daarmee berekeningen kunnen uitvoeren. [T1]

3 Je moet de eenheid van warmte en de eenheid van temperatuur kennen. [T2]

4 Je moet het verschil kunnen aangeven tussen warmte en temperatuur. [T2, T4]

5 Je moet weten wat er met de afstand tussen de moleculen en met hun snelheid gebeurt bij stijgende temperatuur. [T2]

6 Je moet weten dat je temperatuur meet met een thermometer. [P2]

7 Je moet een thermo-element kunnen beschrijven en je moet weten hoe je dit meetinstrument kunt gebruiken. [P2]

8 Je moet de temperatuureenheden °C en K in elkaar kunnen omrekenen. [T2]

9 Je moet weten dat warmtetransport uit zichzelf alleen plaatsvindt van hoge naar lage temperatuur. [T3]

10 Je moet drie manieren kennen, waarop warmtetransport kan plaatsvinden. [T3]

11 Je moet drie stoffen kennen die de warmte goed geleiden en drie die de warmte slecht geleiden. [T3]

12 Je moet kunnen aangeven waar de grootte van het warmtetransport bij warmtegeleiding van afhangt. [T3]

13 Je moet kunnen verklaren waarom sommige stoffen kouder aanvoelen dan andere, terwijl ze toch dezelfde temperatuur hebben. [P3, T3]

14 Je moet drie toepassingen kennen van warmte-isolatie met behulp van stilstaande lucht. [P3, T3]

15 Je moet kunnen aangeven wat het verschil is tussen warmtestroming en warmtegeleiding. [T3, T4]

16 Je moet kunnen verklaren waarom warme lucht of warm water opstijgt. [T4]

17 Je moet weten hoe warmtetransport plaatsvindt bij straling. [P4, T4, W4]

18 Je moet drie factoren kennen waarvan de hoeveelheid door een voorwerp uitgezonden straling afhangt. [T4]

19 Je moet weten wat er met straling gebeurt als deze op een donker gekleurd voorwerp valt. [T4]

20 Je moet weten welke rol kleur speelt bij absorptie (opname) en emissie (uitzending) van straling. [T4]

21 Je moet vier soorten straling kunnen noemen. [T4]

22 Je moet weten hoe je bij warmteopslag het warmteverlies zoveel mogelijk kunt beperken. [P3, T3, P4, T4]

Blok 15

Temperatuur en warmte

Basisstof

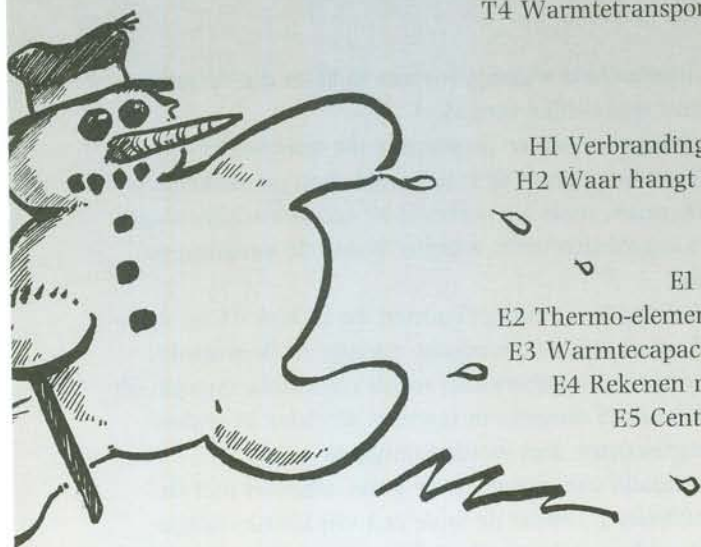
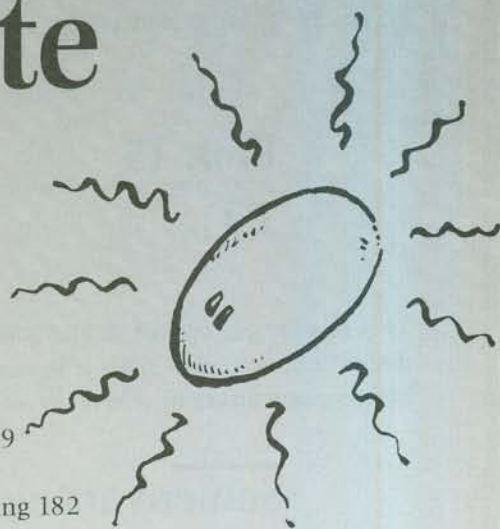
- T0 Korte herhaling 172
- T1 Verbrandingswarmte 173
 - W1 174
- T2 Temperatuur en warmte 175
 - W2 179
- T3 Warmtetransport door geleiding 179
 - W3 181
- T4 Warmtetransport door stroming en straling 182
 - W4 184

Herhaalstof

- H1 Verbrandingswarmte en rendement 185
- H2 Waar hangt warmtetransport van af? 186

Extrastof

- E1 De koelkast 190
- E2 Thermo-element en bimetaalthermometer 192
- E3 Warmtecapaciteit en soortelijke warmte 194
- E4 Rekenen met soortelijke warmte 198
- E5 Centrale verwarming 200



Inleiding

'Het is warm vandaag'.
'Koud hè, met die noordenwind'.
'Lekker weetje!'

Dit soort uitspraken horen we elke dag. Het weer is nu eenmaal, als je niets anders weet, een aardig onderwerp om een gesprek mee te beginnen. Iedereen kan erover mee praten en heeft er een mening over. Als de temperatuur 's zomers tussen 18 °C en 22 °C is vinden we het behaaglijk en spreken we van 'lekker warm'. Als de temperatuur lager dan 18 °C is vinden we het 'fris' of 'koud'. Bij temperaturen hoger dan 22 °C zeggen we dat het 'warm' is. Dit heeft te maken met de temperatuur van ons eigen lichaam.

De lichaamstemperatuur van mensen bedraagt ongeveer 37 °C. We gebruiken een deel van de chemi-

sche energie uit ons voedsel om onze temperatuur op 37 °C te houden. Als dat niet gebeurde zou onze lichaamstemperatuur dalen, omdat we warmte afstaan aan onze omgeving. Hoe lager de temperatuur van onze omgeving, hoe sneller we warmte verliezen. Bij zeer lage buitentemperatuur of in zeer koud water is ons lichaam niet in staat om de afgestane warmte aan te vullen, waardoor onderkoeling en zelfs bevriezing kan ontstaan. Om ons daartegen te beschermen, moeten we ons dikker kleden en de ruimten verwarmen waarin we leven. Bij een hogere buitentemperatuur moeten we ons lichaam door transpiratie afkoelen. Ook dát kost energie.

Dit blok gaat over temperatuur en warmte, twee begrippen die voor ons van levensbelang zijn.

Blok 15

TO

Korte herhaling

T1 is een vervolg op blok 8. Het is verstandig om blok 8 nog eens door te nemen als je te weinig hebt aan de korte samenvatting die hieronder volgt.

Samenvatting blok 8

Bij energieomzettingen wordt energie van de ene soort omgezet in energie van de andere soort.

Voorbeeld: In een lamp wordt elektrische energie omgezet in stralingsenergie (licht) en warmte. Een stofzuiger zet elektrische energie om in bewegingsenergie en in (ongewenste) warmte. In de dynamo van je fiets wordt bewegingsenergie omgezet in elektrische energie. Voor al deze energieomzettingen geldt: de totale hoeveelheid energie voor en na het omzetten is even groot. Je kunt dus ook zeggen: bij energieomzettingen gaat geen energie verloren. We noemen dit de *wet van behoud van energie*.

Soms lijkt het of er toch energie verloren gaat. Een auto blijft niet eeuwig rijden als je de motor stil zet. De bewegingsenergie neemt af en wordt door wrijving omgezet in warmte.

Warmte is een energiesoort die vaak over het hoofd wordt gezien. Dit heeft twee oorzaken.

De hoeveelheid warmte is soms zo klein dat de temperatuur nauwelijks verandert.

Wrijvingswarmte en de warmte die ontstaat in een elektrisch apparaat zijn niet altijd even gemakkelijk te herkennen, zoals bijvoorbeeld bij een stofzuiger, waar de weggeblazen lucht warmer is dan de aangezogen lucht.

De belangrijkste energievormen die in blok 15 ter sprake komen, zijn de chemische energie en de warmte. Bij verbrandingsprocessen wordt chemische energie uit de brandstof omgezet in warmte, die later in andere energiesoorten kan worden omgezet.

De eenheid van energie is de joule, afgekort met de hoofdletter J. Omdat de joule een vrij kleine energie-eenheid is, worden vaak de kilojoule (1 kJ = 1000 J) en de megajoule (1 MJ = 1000 kJ = 1 000 000 J) gebruikt.

T1 Verbrandingswarmte en rendement

De hoeveelheid energie die vrijkomt als we een stof verbranden hangt af van:

- de hoeveelheid stof die we verbranden,
- de verbrandingswarmte.

De verbrandingswarmte is de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij de verbranding van 1 kg vaste stof (bij gassen en vloeistoffen: de warmte die vrijkomt bij de verbranding van 1 m³ van die stof). De eenheid is J/kg of J/m³ (figuur 1).

fig. 1

stof	verbrandingswarmte
vaste stof in:	MJ/kg
bruinkool	21 = 21 000 kJ/kg
hout	16
steenkool	29
vloeistof en gas in:	MJ/m ³
benzine	33 000 = 33 MJ/l
spiritus	18 000
stookolie	40 000
aardgas	32
butagas	110
(1 MJ/kg = 1 · 10 ⁶ J/kg = 1000 kJ/kg = 1 kJ/g)	
(1 MJ/m ³ = 1 · 10 ⁶ J/m ³ = 1 kJ/l)	

De chemische energie in ons voedsel komt vrij door de stofwisseling in ons lichaam, die ook vaak verbranding wordt genoemd. Het is immers een reactie met zuurstof. In produkten met veel vet of suiker zit meer energie dan in produkten met weinig vet of suiker (de zogenaamde *light* produkten). Op de verpakking van veel voedingsmiddelen staat tegenwoordig vermeld hoe groot de verbrandingswarmte is. Kijk maar op een pak melk of een pot pindakaas (figuur 2). De eenheid die daar gebruikt wordt is de kJ/g of kJ/100 g. Maar ook kom je nog wel de kcal/g tegen, hoewel deze laatste eenheid wettelijk niet meer is toegestaan.

Voor het verwarmen en koken maken we gebruik van de verbrandingswarmte van aardgas of aardolie. In de centrale-verwarmingsketel wordt aardgas of aardolie verbrand. De vrijgekomen warmte wordt gebruikt om het water van de c.v.-installatie in temperatuur te laten stijgen. Via het buizenstelsel en de radiatoren wordt het gehele huis verwarmd. De processen die daar een rol bij spelen komen later in dit blok aan de orde. Bij het verwarmen van huizen verdwijnt een deel van de energie in de vorm van warmte van de rookgassen door de

fig. 2

Etiket van een pak vanillevla.



schoorsteen naar buiten. Een deel van de energie komt dus op een plaats terecht waar we het liever niet hebben. Men probeert het energieverlies zoveel mogelijk te beperken. Bij HR-ketels (hoogrendementketels) is het warmteverlies minder groot. Er wordt een techniek toegepast waarbij de rookgassen een deel van hun energie afgeven aan het naar de ketel terugstromende koude retourwater (figuur 3).

Het rendement van HR-ketels is groter dan 90%. Dat wil zeggen: 90% van de omgezette chemische energie wordt gebruikt voor het verwarmen van het water in de c.v. De overige 10% wordt niet nuttig gebruikt en verdwijnt via de schoorsteen. Het rendement kun je berekenen met:

$$\text{rendement} = \frac{\text{nuttige energie}}{\text{omgezette energie}} \cdot 100\%$$

fig. 3

Doorsnede c.v.-ketel.

verbrandingsgassen 30 à 85 °C

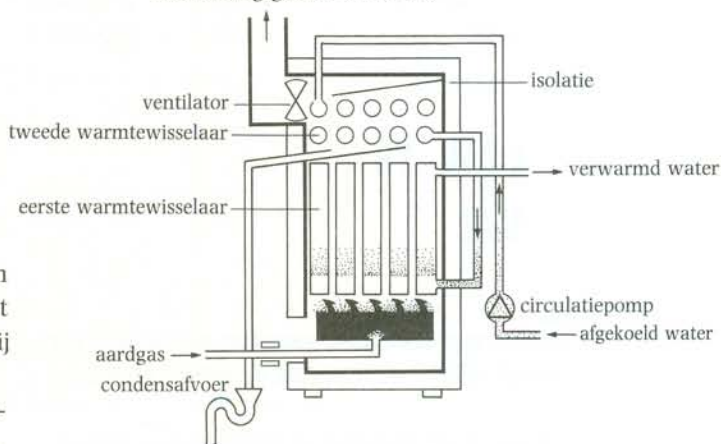


fig. 4

Tabel energiewaarde voedingsmiddelen (per 100 gram).

Bron: Voedingsmiddelentabel van het Voorlichtingsbureau voor de Voeding.

produkt	energie- waarde (kJ)	produkt	energie- waarde (kJ)	produkt	energie- waarde (kJ)
aardappelen (gekookt)	289	slagroom	1602	tomatensoep	161
aardappelen (gebakken)	987	yoghurt	250		
chips	2269	kaas (volvet, jonge)	1455	frikadel	1331
patates frites	1322			cola	187
andijvie	51	bak- en braadvet	3800	frisdrank	204
bloemkool	104	boter	3171	chocolade	2236
boerenkool	174	halvarine	1520	drop	714
doperwtten	257	margarine	3171		
komkommer	26			aardbeien	97
spinazie	62	boterhamworst	1585	appels	170
spruitjes	172	gehakt	1452	bananen	391
witte bonen	325	hamburger	1410	kersen	179
wortelen	111	kip	720	mandarijnen	145
		knakworst	1002	peren	179
macaroni (gekookt)	514	lever (gekookt)	564	perziken	145
rijst (gekookt)	629	leverworst	1353	sinaasappels	179
		rookvlees	772		
beschuit	1660	rookworst	1433	borrelnootjes	2358
bruinbrood	1013	salami	1835	cashewnoten	2534
volkorenbrood	964	schouderham	935	hazelnoten	2620
wittebrood	1045			pinda's	2770
		haring	842	walnoten	2861
biscuit	1774	kabeljauw	429		
cake	1932	lekkerbekje	840	appelstroop	1037
gevulde koek	1794	mosselen	242	chocoladepasta	1363
slagroomgebak	1372	paling	884	hagelslag	1683
sprits	2111	sardines (in blik)	1016	honing	1369
		vissticks	958	jam	1046
chocolademelk	363			mayonaise	3231
karnemelk	121	champignonsoep	161	pindakaas	2770
melk (volle)	269	erwtensoepp	432	suiker	1700
(halfvolle)	196	groentesoepp	144	tomatenketchup	362
roomijs	805	kippesoepp	106		

Blok 15

W1

1 Bereken hoeveel energie er omgezet wordt als 1 liter benzine wordt verbrand. (Gebruik de tabel van fig. 1.)

2a Lees thuis op de gasmeter af hoeveel gas jullie in

24 uur verbruikt hebben.

b Bereken de hoeveelheid warmte die dat gas heeft geleverd. (Gebruik de tabel van figuur 1.)

3a Leg uit waarom de tabel van figuur 4 alleen maar gemiddelde waarden kan bevatten.

b Bereken de energiewaarde van het volgende ontbijt: 2 sneden bruinbrood, besmeerd met margarine en belegd met pindakaas, 1 snee bruinbrood, besmeerd met margarine en belegd met een plak kaas, 1 kop thee met suiker, 1 appel en 1 glas melk (1 snee brood = 30 g).

4a Maak een zo nauwkeurig mogelijke lijst van wat je op één dag (24 uur) eet en drinkt.

b Bereken daarvan de energiewaarde.

5 Het rendement van een elektrische centrale is ongeveer 30%.

Let uit wat dat betekent.

6 Leg uit waarom het rendement van een HR-ketel hoger is dan van een gewone c.v.-ketel.

7 Een automotor heeft een rendement van 25% bij een constante snelheid van 90 km/h. Deze auto heeft bij deze snelheid een benzineverbruik van 1 op 15, dat wil zeggen dat de auto 1 liter benzine verbruikt om een afstand van 15 km af te leggen.

a Bereken de hoeveelheid benzine die nodig is voor 1 km.

b Bereken de energie die vrijkomt bij de verbranding van deze hoeveelheid benzine.

c Bereken de hoeveelheid energie die per km nutteloos verloren gaat.

d Wat gebeurt er met de energie die wél nuttig besteed wordt?

Blok 15

T2 Temperatuur en warmte

In T2 zetten we alles wat we van warmte en temperatuur moeten weten nog eens op een rijtje. Sommige dingen die in P2 staan zijn al bekend. Die kennis wordt in T2 uitgebreid.

Warmte

Bij energieomzettingen wordt de ene energiesoort omgezet in een andere. Uit blok 8 weet je dat daarbij geen energie verloren gaat. Toch lijkt het vaak of er wel energie verloren gaat. Bij nauwkeurige bestudering blijkt er dan echter warmte vrijgekomen te zijn.

Zo wordt bij een auto de chemische energie van de benzine omgezet in bewegingsenergie en warmte (de motor wordt warm; de banden worden warm).

Vaak kun je met de vrijgekomen warmte niet veel meer doen. Daarom wordt deze warmte als 'afvalenergie' beschouwd.

Vanwege het 'afval'-karakter wordt warmte een minderwaardige soort energie genoemd. Je kunt warmte niet altijd even gemakkelijk omzetten in andere soorten energie. Dit kan eigenlijk alleen maar bij grotere temperatuurverschillen. Zo bevatten de oceanen op aarde een onvoor-

stelbaar grote hoeveelheid energie, maar je kunt met deze energie vrijwel niets doen, omdat het temperatuurverschil tussen het warme en koudere oceaanwater te gering is. Alleen met een zogenaamde warmtepomp (die ook in een koelkast zit) kun je warmte van lage temperatuur naar hoge temperatuur brengen, maar de pomp heeft wel energie nodig om zijn werk te kunnen doen. Warmte stroomt spontaan (= vanzelf, dus zonder energietoevoer) alléén van hogere naar lagere temperatuur.

Als er over een *energiecrisis* wordt gesproken is dat dus niet omdat er te weinig energie is, maar omdat er te weinig bruikbare energie is. Volgens de wet van behoud van energie kan energie bovendien nooit op raken!

Temperatuur en het meten van temperatuur

De temperatuur is een grootheid, die met warmte samenhangt. De temperatuur stijgt als er warmte aan een voorwerp wordt toegevoerd en de temperatuur van het voorwerp daalt als het warmte afstaat. De temperatuur van een voorwerp is een maat voor de *bewegingsenergie* van de molekulen van het voorwerp. Hoe hoger de temperatuur, des te groter de bewegingsenergie van de molekulen.

Hoe groter de bewegingsenergie, des te groter de gemiddelde snelheid van de molekulen.

Omdat het al weer een tijdje geleden is dat je met het molekuulmodel hebt gewerkt, volgen hier nog eens de belangrijkste kenmerken van het model:

- Gassen, vloeistoffen en vaste stoffen zijn opgebouwd uit molekulen.
- In gassen kunnen de molekulen vrij bewegen. De afstand tussen de molekulen in een gas is erg groot.
- In vloeistoffen zitten de molekulen dicht bij elkaar, maar ze kunnen nog wel vrij langs elkaar heen bewegen.

- In gassen en vloeistoffen botsen de molekulen voortdurend tegen elkaar en de wanden van de ruimte waarin ze zich bevinden.
- In vaste stoffen kunnen de molekulen niet meer vrij bewegen. Ze trillen rond een vaste plaats in een rooster.
- De molekulen oefenen in vloeibare en vaste toestand cohesiekrachten op elkaar uit.

Om de temperatuur te bepalen kun je niet altijd op je zintuigen afgaan. Als je wil weten of iemand koorts heeft, of je wilt de temperatuur in een kamer weten dan voldoen onze zintuigen prima om die temperatuur te schatten. Als je handen in de winter zo koud zijn geworden dat ze 'tintelen' en je houdt ze dan in kraanwater, dan lijkt het leidingwater warm. Als je echter 's morgens uit je warme bed komt en je houdt je hoofd onder dezelfde koudwaterkraan, dan lijkt het leidingwater ijskoud. De waarnemingen van onze zintuigen zijn dus gemakkelijk te beïnvloeden.

Daarom moeten we nauwkeurige temperatuurmetingen met een thermometer doen (figuur 5).

Een thermometer bestaat uit een reservoir gevuld met kwik of alcohol en een capillair (zeer dun glazen buisje).

De vloeistof zet uit als de temperatuur stijgt. Dit is vooral in het nauwe capillair goed te zien aan het stijgende vloeistofniveau, want het glas van reservoir en capillair zet óók wel wat uit, maar gelukkig véél minder dan de vloeistof. Op de schaalverdeling kun je dan de temperatuur aflezen.

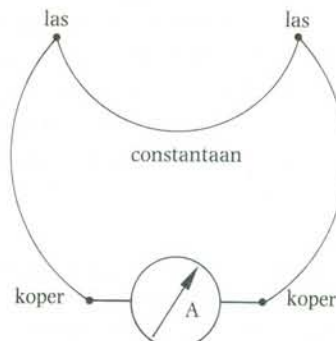
fig. 5
Laboratoriumthermometer.



fig. 6
Koortsthermometer.



fig. 7
Thermo-element.



Voor het meten van de temperatuur van een klein voorwerp kun je beter geen thermometer gebruiken. De thermometer neemt dan zoveel warmte op dat de tem-

peratuur van het voorwerp daardoor verandert. Voor de temperatuurbepaling van kleine voorwerpen wordt een *thermo-element* gebruikt. Een thermo-element bestaat uit een constantaandraad, die aan de uiteinden gelast is aan twee koperdraden. Deze koperdraden worden op een gevoelige stroommeter aangesloten. Er ontstaat een kleine elektrische spanning als er temperatuurverschil tussen de beide lussen is. Omdat de grootte van deze thermospanning afhangt van het tempera-

tuurverschil, is het thermo-element te gebruiken als thermometer, want hoe groter de thermospanning, hoe groter (bij een gesloten keten) de daardoor ontstane thermostroom is. Het ijken kan gebeuren door één van de twee lussen (warme lus) in een bakje water te houden en dan de stroomsterkte bij verschillende watertemperaturen te meten. Je moet er natuurlijk zeker van zijn dat de temperatuur van de andere lus (koude lus) niet verandert.

Het verband tussen temperatuur en warmte

Soms lijken dingen koud, hoewel ze een heel hoge temperatuur hebben. De vonken die bij het slijpen van metaal in het rond springen zijn erg gevaarlijk voor onze ogen. Als je echter zo'n vonk op je hand krijgt voel je vrijwel niets. Toch hebben die vonken (stukjes gloeiend metaal) een temperatuur van meer dan 700°C. Ze zijn echter zo klein, dat ze te weinig energie aan je hand afstaan om een brandblaas te veroorzaken. Ook bij kerststerretjes zie je het zelfde: hoge temperatuur, maar weinig energie. Met een gloeiende speld kun je echt geen glas water verwarmen.

De kleur van een vonk is bij lage temperatuur donkerrood. Bij hogere temperaturen verandert de kleur via oranje in bijna wit. Deze kleurverschillen zijn goed te zien bij de gloeidraad van een lampje en bij kerststerretjes. Wees voorzichtig met de kerststerretjes want 'koud' vuur bestaat niet en een grotere vonk kan wel degelijk brandwonden veroorzaken.

Een kopje heet water (100°C) bevat wél voldoende warmte om je hele vinger te verbranden. Het verband tussen warmte en temperatuur kun je als volgt onthouden:

Temperatuureenheden

In het dagelijks leven spreken we vaak over 18 graden of 22 graden. Dit veroorzaakt geen spraakverwarring, omdat iedereen ervanuit gaat dat je de celsiusschaal bedoelt.

Ons gewone taalgebruik is vaak heel slordig en meestal hindert dat niet. Iedereen begrijpt dat, als tegen jou

Als je warmte aan een voorwerp toevoert, stijgt de temperatuur. Wanneer een stof in temperatuur daalt, komt er warmte vrij.

De toegevoerde energie wordt in de stof opgeslagen als bewegingsenergie van de molekulen. Als de stof in temperatuur daalt, daalt de bewegingsenergie van de molekulen weer. Daarom is de vrijgekomen warmte bij een temperatuurdaling van een voorwerp van 10 °C even groot als de warmte die toegevoerd moet worden om hetzelfde voorwerp 10°C in temperatuur te doen stijgen. De *hoeveelheid warmte* die bij temperatuurdaling vrijkomt of bij temperatuurstijging nodig is zal, behalve van de *soort materie*, vooral afhangen van de *hoeveelheid materie*. Hoe meer molekulen, des te meer bewegingsenergie van die molekulen in warmte kan worden omgezet bij temperatuurdaling (of omgekeerd bij temperatuurstijging).

Breng je twee stoffen met verschillende temperatuur bij elkaar dan zal er net zolang warmte stromen tot de temperatuur van beide stoffen gelijk is. We omschrijven dit met: warmte stroomt spontaan altijd van een voorwerp (plaats) met hoge temperatuur naar een voorwerp (plaats) met lage temperatuur. En vanwege de wet van behoud van energie geldt: de opgenomen warmte door het ene voorwerp is gelijk aan de afgestane warmte door het andere voorwerp.

gezegd wordt: 'mijn natuurkundeleeraar is 37', je informatie hebt gekregen over zijn leeftijd en niet over zijn lichaamstemperatuur. Moeilijker wordt het met een afspraak om half tien: iedereen weet dat dit een tijdsaanduiding is, maar is het 's ochtends of 's avonds?

In de natuurkunde moeten we veel zorgvuldiger zijn met ons taalgebruik: daarom zeggen we niet 18 graden of 22 graden, maar 18 graden Celsius of 22 graden Celsius, afgekort: 18 °C of 22 °C. Naast de graad Celsius wordt in de natuurkunde vooral de kelvin (K) gebruikt als eenheid van temperatuur.

Temperatuurschalen

Celsius

De Zweed Anders Celsius (1701-1744) heeft in 1742 zijn schaalverdeling als volgt gekozen:

- de temperatuur van smeltend ijs noemde hij 0 °C,
- de temperatuur van kokend water noemde hij 100 °C,
- de tussenliggende afstand verdeelde hij in 100 gelijke stukken.

Kelvin

Uit experimenten met gassen heeft men af kunnen leiden dat de temperatuur niet lager kan worden dan - 273 °C: *het absolute nulpunt*. De Engelsman William Thomson (1824-1907) die in 1892 in de adelstand werd verheven en sindsdien Lord Kelvin werd genoemd, nam als aftelpunt voor zijn schaalverdeling het absolute nulpunt. Verder is zijn schaalindeling hetzelfde als die van Celsius; dat wil zeggen: op dezelfde thermometer is één schaaldeel bij de celsius- en de kelvinschaal even groot.

$$\begin{aligned} 0 \text{ K} &= -273 \text{ °C} \\ 273 \text{ K} &= 0 \text{ °C} \\ 373 \text{ K} &= 100 \text{ °C} \end{aligned}$$

Fahrenheit

De Duitser Daniel Fahrenheit (1686-1736) ontwikkelde in 1714 de eerste, goed afleesbare thermometer. Als nulpunt koos hij de temperatuur van een 'koudmakend' mengsel, bestaande uit ijs, keukenzout en water, toen de laagste temperatuur die men in een laboratorium kon bereiken. Zijn andere vaste punt was de menselijke lichaamstemperatuur, die hij op 96 °F stelde. Hiermee komen het vriespunt en het kookpunt van water op 32 °F en 212 °F. De fahrenheitschaal wordt alleen nog veel in Amerika en Engeland gebruikt.

In figuur 8 zie je een schaalverdeling voor de temperatuur. Aan de rechterkant staat °C; aan de andere kant K.

Wanneer je een temperatuur in °C wilt omrekenen naar K, moet je er 273 bijtellen:

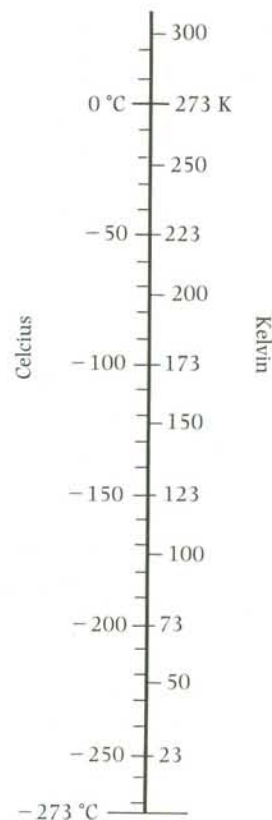
$$53 \text{ °C} = 53 + 273 = 326 \text{ K}.$$

Omgekeerd van K naar °C moet je er 273 van aftrekken:

$$172 \text{ K} = 172 - 273 = -101 \text{ °C}.$$

Een temperatuurverschil van 10 K komt dus overeen met een temperatuurverschil van 10 °C.

fig. 8



Eenheid van warmte

Warmte is een vorm van energie, dus de eenheid van warmte is de joule, afgekort met de hoofdletter J.

1 Waarom kun je de temperatuur niet goed met je zintuigen meten?

2 Leg uit hoe een thermometer werkt.

3 Noem een voordeel van de kelvinschaal boven de celsiusschaal.

4 Reken om in K:

- a 23 °C
- b 12 °C
- c 127 °C
- d -45 °C

5 Reken om in °C:

- a 12 K
- b 73 K
- c 112 K
- d 22 K
- e 273 K

6a Bij hoeveel K bevroest water?

b Hoeveel K is onze gemiddelde lichaamstemperatuur?

7 Maakt het uit of je een temperatuurverschil in K of °C uitrekent?

8a Hoe ontstaat temperatuurstijging van een voorwerp?

b Hoe ontstaat temperatuurdaling van een voorwerp?

9 Je hebt een klein glas en een groot glas, beide tot de rand gevuld met water van 70 °C.

Leg uit welk glas de meeste warmte bevat.

10 Je hebt een kleine ijzeren kogel en een grote ijzeren kogel. Aan beide kogels voer je 100 J warmte toe. Welke kogel krijgt de hoogste temperatuur en waarom?

11 Welke voordelen heeft een thermo-element boven een thermometer?

Blok 15

T3

Warmtetransport door geleiding

Warmte kan uit zichzelf alleen van plaatsen met hoge temperatuur naar plaatsen met lage temperatuur worden getransporteerd. Bij warmtegeleiding geven de molekulen door botsingen de warmte in de vorm van bewegingsenergie aan elkaar door. De molekulen zelf blijven op hun plaats. Zij trillen in een vaste stof rond een bepaalde evenwichtsstand in het rooster (blok 7 T4). De molekulen op de plaats met de hoogste temperatuur bewegen het snelst. Door de botsingen op het raakvlak van de twee stoffen met verschillende temperatuur zullen de molekulen in de koude stof sneller gaan bewegen, waardoor de temperatuur stijgt. De snelheid van de molekulen van het voorwerp met de hoogste temperatuur wordt door de botsingen juist minder. Het resultaat is dat het temperatuurverschil tussen de twee voorwerpen hierdoor kleiner wordt en

tenslotte geheel zal verdwijnen.

Vaste stoffen geleiden warmte beter dan vloeistoffen en gassen. Metalen zijn de beste warmtegeleiders. Gassen geleiden de warmte zeer slecht. Stoffen die slechte warmtegeleiders zijn, noemt men isolatoren. Stilstaande lucht is een goede isolator.

Het warmtetransport is afhankelijk van:

- het temperatuurverschil;
- het geleidingsvermogen.

Naarmate het temperatuursverschil tussen een voorwerp en zijn omgeving groter is, koelt het voorwerp sneller af. Een bekeerglas met heet water koelt in de eerste minuut meer af dan in de tiende minuut. Een metalen voorwerp (goede geleider) koelt sneller af dan een voorwerp van piepschuim (slechte geleider).

Isolatie

Warmte-isolatie is erg belangrijk. Bij een goed geïsoleerde woning verdwijnt de warmte niet zo snel naar buiten. Daardoor hoeft er minder gestookt te worden. Dat betekent weer besparing van dure en schaarse brandstof.

Stilstaande lucht is een zeer goede isolator. Praktisch alle isolatiematerialen zoals wol, watten, glaswol, kunststofschuim en kurk bevatten veel lucht.

fig. 9
Spouwmuur. Deze kan behalve met lucht óók gevuld worden met isolatiemateriaal.

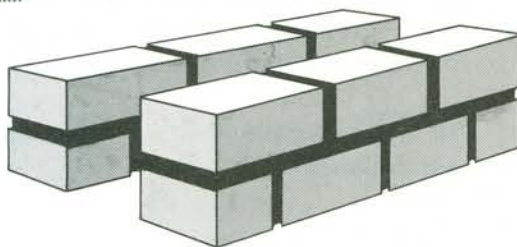


fig. 10
Voorzetramen.



Nieuwe huizen hebben allemaal spouwmuren. Dat zijn dubbele muren, gescheiden door een luchtlaag (figuur 9).

Spouwmuren werden oorspronkelijk aangebracht omdat een enkele muur vocht doorlaat. Bijkomende voordelen zijn de warmte- en geluidsisolatie. De warmte-isolatie van spouwmuren, vloeren en daken kan verhoogd worden door het aanbrengen van geschikte isolatiematerialen. Voor daken zijn dat onder andere glaswoldekens en kunststofschuim. Ramen kan men isoleren door middel van ruiten die uit twee lagen glas bestaan met een droge luchtlaag ertussen (thermo-pane-glas). Ook kan men voorzetramen aanbrengen (figuur 10). Met de stijgende brandstofprijzen is de isolatie van huizen steeds belangrijker geworden.

Ook in de natuur wordt stilstaande lucht gebruikt als warmte-isolator. Denk maar aan de vacht van dieren, die veel lucht bevat. Vogelveren zijn ook goede isolatoren. Net als de haartjes op onze huid hebben ze de taak om de lucht vast te houden. Als we het koud vinden, hebben wij extra kleren (isolatie) nodig die de warmteafvoer beter beperken naarmate ze meer lucht bevatten. Denk aan een wollen trui en een geruwde wollen deken.

W3

1 Een stuk hout en een stuk messing liggen lange tijd op een hete radiator.

a Wat kun je van de temperatuur van beide voorwerpen zeggen?

b Welk materiaal voelt het heetst aan?

c Hoe komt dat?

2 Als het koud is, voelt het stuur van je fiets kouder aan dan de handvatten.

Geef hiervoor een verklaring.

3 Eskimo's woonden vroeger allemaal in iglo's, bestaande uit gestapelde sneeuwblokken.

Leg uit hoe een iglo van koud materiaal kan beschermen tegen de kou.

fig. 11
Iglo.



4 Waarom hebben alleen warmbloedige dieren een vacht of veren (figuur 12)?

fig. 12
Stilstaande lucht isoleert.



5a Waarom zijn handschoenen die strak om je hand zitten niet warm?

b Waarom zijn wollen wanten in de wind ook niet erg effectief?

6 Om een glas water te verwarmen met een brander, moet je een kopergaasje tussen de vlam en het glas plaatsen om te voorkomen dat het glas gaat springen (figuur 13). Tengevolge van welke twee eigenschappen dreigt het glas te springen?

fig. 13
Brander en statief met
koperen gaasje.



7a Waar gebruik je thuis materiaal dat slecht de warmte geleidt?

b Waar gebruik je thuis materiaal dat goed de warmte geleidt?

T4

Warmtetransport door stroming en straling

Stroming

Bij stroming van warmte zijn het de gassen of vloeistoffen zelf die zich verplaatsen. Een uit papier geknipte spiraal boven een warmtebron gaat draaien omdat de warme lucht opstijgt. Ook warm water stijgt op, zodat er warmte (in de vorm van bewegingsenergie van de molekulen) verplaatst wordt in de vloeistof. Warme lucht stijgt op omdat de *dichtheid* van warme lucht kleiner is dan die van de omringende lucht. Lucht en water zetten uit door verwarming. Deze eigenschap hebben alle stoffen. Door het uitzetten neemt de dichtheid af en daarom zullen warm water en warme lucht gaan drijven op de koudere onderlaag.

Als de molekulen in een gas of vloeistof sneller gaan bewegen, neemt die stof meer ruimte in. Er zitten dan minder molekulen in één cm^3 . De dichtheid wordt daardoor kleiner. De stof met de kleinste dichtheid zal gaan 'drijven' op de stof met de grotere dichtheid.

Water vertoont vlak boven het vriespunt afwijkend gedrag. Als warm water afkoelt, zal de dichtheid aanvankelijk toenemen. Dit gaat door tot 4°C . Beneden deze temperatuur neemt de dichtheid juist af. Het water gaat zich dan al een beetje in het *ijsrooster* (= kristalrooster van de watermolekulen in

ijs) rangschikken (ijs heeft een kleinere dichtheid dan water). Hierdoor heeft water van 4°C de grootste dichtheid. Daardoor zal er 's winters in sloten en meren altijd een laag water van 4°C op de bodem liggen, zelfs al is de sloot bijna dichtgevroren.

De warmtestroming in vloeistoffen en gassen neemt toe als het temperatuurverschil groter wordt. Bij heel kleine temperatuurverschillen is de stroming bijna niet aanwezig.

Bij deze vorm van warmtetransport wordt de bewegingsenergie van de molekulen dus meegenomen door de bewegende stof zelf. Dit in tegenstelling tot warmtegeleiding, waarbij alleen de bewegingsenergie van molekuul naar molekuul via botsingen wordt doorgegeven. De molekulen van de stof zelf blijven echter op hun plaats.

Straling

De zonnewarmte kan ons niet via geleiding of stroming bereiken omdat er in het heelal geen *tussenstof* aanwezig is. Bij geleiding en stroming kan warmte via bewegingsenergie van de molekulen van de tussenstof worden getransporteerd. Maar bij straling kan dat dus niet. De warmte van de zon komt bij ons via warmtestraling. Er zijn veel soorten straling: röntgenstraling, ultraviolette straling, licht, infrarode straling, radargolven, radiogolven. Al deze soorten straling noemen we *elektromagnetische straling*. Hiervan is alleen licht zicht-

baar. Met speciale kijkers en fotoapparatuur is infrarode straling wel zichtbaar te maken. Ook met röntgenstraling kun je fotograferen (denk maar aan allerlei toepassingen in het ziekenhuis).

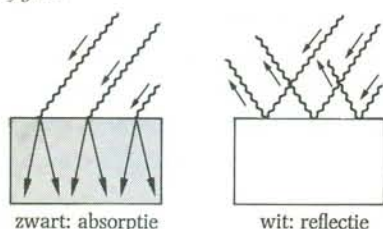
De snelheid van alle elektromagnetische straling is in lucht $300\,000\text{ km/s}$. Deze snelheid noemen we de lichtsnelheid.

Absorptie en reflectie

Een voorwerp kan straling absorberen (opnemen) of reflecteren (terugkaatsen). Bij absorptie wordt de stralingsenergie omgezet in warmte. Daardoor stijgt de temperatuur. Het voorwerp kan de opgenomen energie ook weer afgeven in de vorm van straling.

Absorptie is het sterkst bij zwarte en doffe voorwerpen. Bij reflectie wordt de straling teruggekaatsd en neemt het voorwerp geen energie op. Net als bij licht reflecteren spiegelende en witte, glimmende voorwerpen de straling het beste.

fig. 14



Een stralingsbron levert meer straling als de temperatuur van de bron hoger is (de zon heeft een oppervlaktetemperatuur van ongeveer 6000 °C). Voorwerpen die goed straling kunnen absorberen bij

lage temperatuur, kunnen ook goed straling uitzenden bij hoge temperatuur. Daarom zal een bron met een zwart, ruw oppervlak meer straling leveren dan een glanzend of spiegelen oppervlak van dezelfde temperatuur. Tenslotte kan er ook meer energie uitgestraald worden als het oppervlak groter is.

Samenvatting

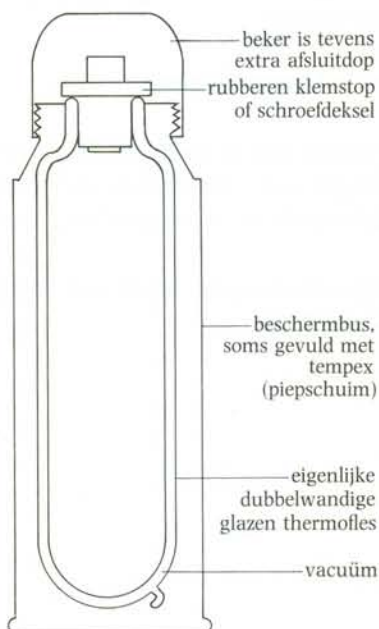
Ruwe, zwarte oppervlakken van lagere temperatuur absorberen het beste en zenden het beste straling uit bij hogere temperatuur.

Een bron zendt bovendien meer straling uit als de temperatuur hoger is en het oppervlak groter is.

De thermosfles

Je weet nu dat warmte op drie manieren getransporteerd kan worden, door: *geleiding*, *stroming* en *straling*. De isolatie van de thermosfles verhindert alle drie de vormen van warmtetransport (figuur 15).

fig. 15
Thermosfles.



luchtledige is dus geen geleiding mogelijk. Verder zijn er bij de beschermbus en bij de afsluiting zoveel mogelijk materialen toegepast die de warmte slecht geleiden. Warmtestroming is in de luchtledige ruimte binnen de dubbele wand ook niet mogelijk. Verder zorgt de tempexvulling tussen de thermosfles en de beschermbus ervoor dat daar geen stroming kan optreden. Om straling tegen te gaan is de eigenlijke thermosfles verzilverd, zodat deze van binnen en van buiten sterk reflecterend is.

Een thermosfles heeft een deksel nodig om de warmte in de fles te houden. Warme lucht stijgt immers op. Bij vloeistoffen met een lage temperatuur is het deksel minder noodzakelijk omdat de 'warme' lucht niet de neiging heeft om naar beneden te stromen, waardoor de vloeistof opgewarmd zou kunnen worden. Bij koude vloeistoffen is het soms zelfs gevaarlijk er een deksel op te doen omdat de vloeistof vaak verdampt, waardoor de druk hoger wordt. Zo wordt vloeibare stikstof altijd in een open thermosfles bewaard, die losjes is afgesloten met een prop glaswol of iets dergelijks.

In een thermosfles kun je (warme of koude) vloeistoffen lang op dezelfde temperatuur houden.

Er zijn de volgende isolatiemaatregelen genomen:

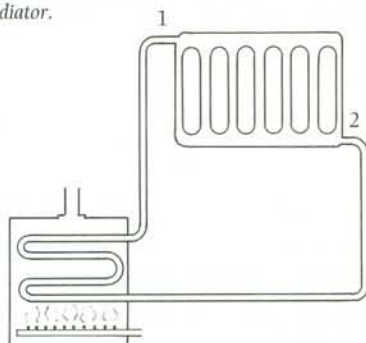
Om geleiding tegen te gaan is de ruimte tussen de dubbele wand van de eigenlijke thermosfles luchtledig gemaakt. Voor geleiding is een tussenstof nodig. In het

1 Vroeger werd de ketel van de centrale verwarming in de kelder geplaatst. Tegenwoordig wordt hij meestal op zolder gezet.

a Waarom heeft men op zolder wel een pomp nodig bij de c.v. en in de kelder (figuur 16) niet?

b Waarom zit bij een c.v.-radiator de warm water aansluiting (1) boven en de koudwateraansluiting (2) onder aan de radiator?

fig. 16
Schematische tekening van een c.v.-installatie met radiator.



2 Waarom is het oppervlak van een verwarmingsradiator nooit vlak?

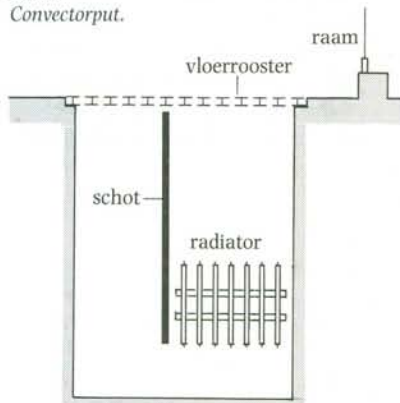
3 In een verwarmde kamer is het bij het plafond altijd warmer dan bij de grond. Leg uit hoe dit komt.

4 Tegenwoordig gebruikt men bij het verwarmen van woningen soms convectorputten (figuur 17). In de put staat een radiator.

a Neem de tekening over en geef met pijlen de richting van de luchtstroom aan.

b Wat is het voordeel van een convectorput?

fig. 17
Convectorput.



5 Zweefvliegtuigen maken gebruik van *thermiek* (opstijgende warme lucht). In gebieden met thermiek circuleren de vliegtuigen omhoog en zweven dan langzaam dalend naar een volgend gebied met thermiek.

Hoe komt het dat de thermiek niet overal aanwezig is?

6 Waarom is het verstandig om in de tropen witte kleding te dragen?

7 Hoe zou men zich in de poolstreken het beste kunnen kleden, in witte of in zwarte kleding? Waarom?

8 Waarom is vochtige kleding kouder dan droge kleding?

9 De zon zendt veel straling naar de aarde. Leg uit waarom warmtetransport via geleiding of stroming hierbij geen rol kan spelen.

10 Geef voor elk van de onderstaande isolatiemaatregelen aan welke vorm van warmtetransport vooral wordt voorkomen.

- a Dubbel glas.
- b Spouwmuurisolatie.
- c Dak- of vloer-isolatie.
- d Radiatorfolie.
- e Tochtgaten en kieren afsluiten.

11 Sommige huizen zijn zo goed geïsoleerd dat de bewoners last krijgen van schimmel en vochtplekken in huis. Op welke wijze is dit eenvoudig te voorkomen?

12 Welke isolatiemaatregelen worden in koelkasten en diepvriezers toegepast?

Verbrandingswarmte en rendement

De verbrandingswarmte van vaste stoffen is de energie die vrijkomt bij de verbranding van 1 kg van die stof.

De verbrandingswarmte voor vloeistoffen en gasen is de energie die vrijkomt bij de verbranding van 1 m³ van die stof.

De meest gebruikte eenheid voor de verbrandingswarmte is de megajoule.

1 megajoule (MJ) = 1 miljoen joule = 1 000 000 J.

1 De verbrandingswarmte van steenkool is 29 MJ/kg.

Hoeveel warmte komt er vrij als er:

a 1 kg steenkool wordt verbrand;

b 1 g steenkool wordt verbrand;

c 1 ton (= 1000 kg) steenkool wordt verbrand?

2 De verbrandingswarmte van benzine is 33 000

MJ/m³ (1 m³ = 1000 l).

Bereken hoeveel warmte er vrijkomt als er

a 1 liter benzine wordt verbrand;

b 25 liter benzine wordt verbrand.

Het rendement van een apparaat geeft aan hoeveel procent van de omgezette energie nuttig besteed wordt.

3 Een elektrische centrale heeft een rendement van 30%.

a Waar blijft de andere 70%?

De centrale gebruikt in 1 dag 100 MJ aan chemische energie uit steenkool.

b Hoeveel MJ elektrische energie wordt er in 1 dag geleverd?

Berekeningen van het rendement kun je het beste met deze formule uitvoeren:

$$\text{rendement} = \frac{\text{nuttige energie}}{\text{omgezette energie}} \cdot 100\%$$

Je krijgt hiermee het antwoord in procenten.

4a Waarom kun je nooit een rendement van meer dan 100% krijgen?

b Waarom kun je nooit een rendement van precies 100% krijgen?

5 Een stoommachine heeft een rendement van 6%.

Hoeveel energie wordt er nuttig geleverd als er 25 000 J wordt omgezet?

6 Een bromfiets levert 6,6 MJ nuttige energie als er 1 liter benzine wordt verbrand. De verbrandingswarmte van benzine is 33 MJ/l.

Bereken het rendement.

Waar hangt het warmtetransport van af?

In dit herhaalblad komen de drie vormen van warmtetransport nog een keer aan de orde.

Warmtegeleiding

Bij warmtegeleiding verplaatst de warmte in de vorm van bewegingsenergie van de molekulen zich door een stilstaande stof. In een vaste stof trillen de molekulen in het kristalrooster rond een evenwichtsstand. Bij toevoer van warmte-energie gaan de molekulen heftiger trillen. Door onderlinge botsingen wordt deze toename van de bewegingsenergie van molekuul naar molekuul doorgegeven.

De mate van warmtetransport door geleiding hangt af van de soort stof (of het een goede geleider is) en van het temperatuurverschil tussen beide uiteinden van de geleider. Omdat het warmtetransport ook te maken heeft met de afmetingen van de geleider, moet je bij metingen van de geleidbaarheid daar natuurlijk wel rekening mee houden.

Als de warmte zich zeer moeilijk door een stof verplaatst, noemen we die stof een warmte-isolator. Als het gemakkelijk gaat, spreken we van een warmtegeleider. We gebruiken de opstelling van figuur 18 om de geleidbaarheid van een stof te onderzoeken.

In figuur 18 zie je een kubusvormige bak met een volume van 1 m^3 . Deze kan gevuld worden met verschillende stoffen. Links wordt de temperatuur voortdurend 1°C hoger gehouden dan rechts. De warmte verplaatst zich daardoor van links naar rechts.

Als de bak gevuld is met water, verplaatst zich per seconde $0,60 \text{ J}$ energie van links naar rechts. In de tabel van figuur 19 zie je de resultaten van de metingen.

- Noteer de stoffen uit tabel 19 in volgorde van geleidbaarheid. Schrijf de beste geleider bovenaan.
- Welk materiaal is de beste warmtegeleider?
- Welk materiaal is de beste warmte-isolator?

fig. 18
Warmtetransport door een geleider.

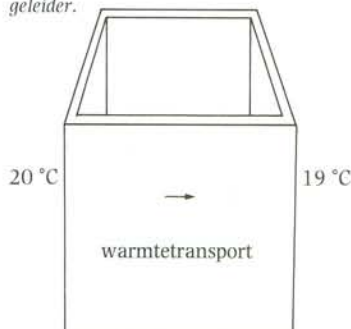


fig. 19

materiaal	warmtetransport (J/s)
alcohol	0,17
baksteen	0,6
beton	1,7
glas	0,93
hout	0,3-0,5
ijzer	75
koper	390
kwik	10,4
lucht (stilstaande)	0,024
papier	0,18
water	0,6
zand	1
zilver	420
zink	110

De warmtegeleiding hangt ook af van de dikte van het materiaal. Een dunne muur laat méér warmte door dan een dikke muur van hetzelfde materiaal.

De hoeveelheid warmte die door de geleider wordt getransporteerd hangt niet alleen af van de soort stof maar ook van het *temperatuurverschil*.

Als de temperatuur in ons huis 20 °C is en buiten 10 °C, stroomt er meer warmte naar buiten, dan wan-

neer het binnen 20 °C is en buiten 15 °C.

Dus hoe groter het temperatuurverschil, des te groter de warmtegeleiding.

3 Noem alle factoren die een rol spelen bij warmtegeleiding.

Warmtestroming

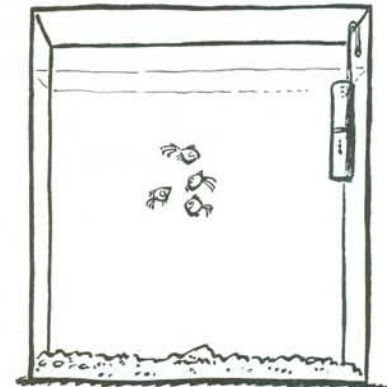
Bij warmtetransport door stroming verplaatst de warmte in de vorm van bewegingsenergie van de molekulen zich met de bewegende stof. Dit in tegenstelling tot geleiding waarbij het materiaal zich niet verplaatst. Warmtestroming kan dus alleen plaatsvinden in gassen

en in vloeistoffen. Vaak hebben we hier te maken met het opstijgen van warme gassen of vloeistoffen. Hierbij wordt de warmte getransporteerd van plaatsen met een hoge temperatuur naar plaatsen met een lage temperatuur.

fig. 20
Verschillen bij geleiding en stroming.

	warmtetransport door:	
	geleiding	stroming
gebeurt in	molekulen geven energie door	molekulen verplaatsen zich
	vaste stof, vloeistof, gas	vloeistof, gas
	van hoge naar lage temperatuur	van hoge naar lage temperatuur (stijgt op)
richting	soort stof	soort stof
afhankelijk van	lengte geleider	afstand tussen plaatsen met hoge T en plaats met lage T
	temperatuurverschil	temperatuurverschil

fig. 21
Verwarming van een aquarium.



4 Bij een heteluchtballon wordt de lucht onder de opening van de ballon verwarmd.

- Wat gebeurt er met de verwarmde lucht?
- Verklaar waarom de ballon opstijgt.

5 Wat is thermiek? Wie maken er gebruik van?

6 Als je in een bekerglas water verwarmt, zie je wervende bewegingen in het water. Hoe ontstaan deze?

7 Op welke plaats in een aquarium kan het verwarmingselement het best worden geplaatst (figuur 21)? Licht je antwoord toe met een tekening van de stroming in het water.

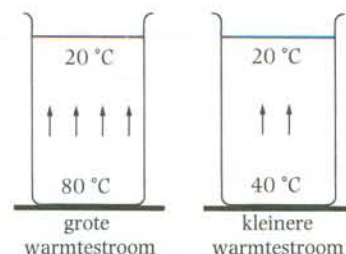
8 In een diep meer heeft het water in de zomer aan het wateroppervlak een hogere temperatuur dan dicht bij de bodem.

Kan door warmtestroming de rest van het water verwarmd worden? Licht je antwoord toe.

9 Op welke wijze wordt bij een thermoskan met hete koffie de warmtestroming het best voorkómen?

Warmtetransport door stroming is groter naarmate het temperatuurverschil tussen de warme en koude plaatsen groter is. In een glas water waarin grote temperatuurverschillen voorkomen, zal de stroming ook sterk zijn (figuur 22).

fig. 22



Warmtestraling

Warmtetransport door straling kan men schematisch als volgt voorstellen (figuur 23).

Bij de bron wordt energie uitgezonden in de vorm van straling (warmte → straling).

Deze straling verplaatst zich en valt op de ontvanger, waar de straling wordt geabsorbeerd (straling → warmte).

Voor warmtetransport door straling is geen tussenstof nodig. De straling van de zon bereikt de aarde via het luchtledige. We bekijken het uitzenden en het absorberen van straling afzonderlijk.

Het uitzenden van de straling door een oppervlak is in de eerste plaats afhankelijk van de temperatuur van het oppervlak. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer stra-

ling er wordt uitgezonden.

Donker gekleurde voorwerpen blijken bij hoge temperatuur meer straling uit te zenden dan licht gekleurde voorwerpen. De hoeveelheid uitgezonden straling hangt dus af van de kleur van het oppervlak.

Verder hangt de hoeveelheid uitgezonden straling af van de grootte van de oppervlakte: hoe groter de oppervlakte van een voorwerp, hoe meer straling wordt uitgezonden.

Bij het absorberen spelen dezelfde factoren een rol als bij het uitzenden. Als het voorwerp bij hoge temperatuur goed straling uitzendt zal het bij lagere temperatuur ook goed straling absorberen.

fig. 23
Warmtestraling.



10 Welke oppervlaktekleur absorbeert bij lagere temperatuur de warmtestraling het best en welke het slechtst?

11 Straalt een voorwerp met een grote oppervlakte meer of minder warmte uit dan een voorwerp met een kleine oppervlakte? (Beide voorwerpen zijn van dezelfde stof en hebben dezelfde temperatuur.)

12 Als je je hand voor een hete radiator houdt, voel je warmte.

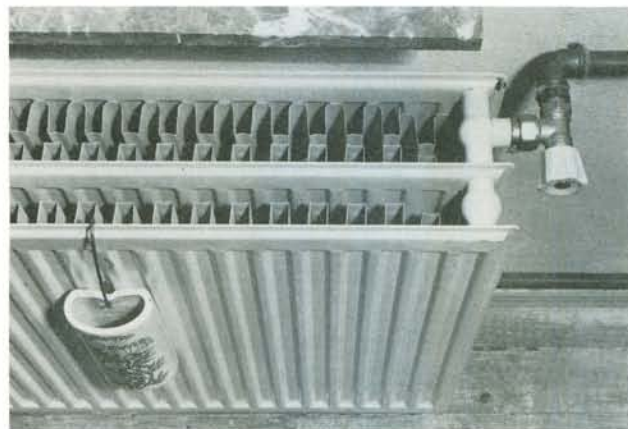
a Welke vorm van warmtetransport is hier voornamelijk de oorzaak van?

b Geef aan waarom de twee andere soorten van warmtetransport hier te verwaarlozen zijn.

13 Hoe heeft men bij radiatoren voor een grote oppervlakte gezorgd (figuur 24)?

fig. 24

Een radiator van een c.v.-installatie in bovenaanzicht.



14 Je houdt een thermometer dicht bij een radiator. Om de minuut lees je de temperatuur af. Je zet de temperatuur daarna uit in een temperatuur-tijddiagram (T, t)-diagram. Je meetwaarden zie je in de tabel van figuur 25.

- Maak het diagram (tijd horizontaal).
- Hoe zie je aan de grafiek dat de temperatuur steeds langzamer stijgt?
- Geef hiervoor een verklaring.

15 Waarom zijn witte auto's in de zomer meestal koeler?

16 Boven een wegdek van asfalt zie je in de zomer vaak opstijgende luchtstromen. Geef voor die opstijging een verklaring.

fig. 25

tijd (minuut)	temperatuur (°C)
0	15
1	17,5
2	19,5
3	21
4	22
5	20,5
6	21
7	21

In de basisstof heb je gelezen dat warmte vanzelf van een plaats met een hoge temperatuur naar een plaats met lagere temperatuur gaat.

Het is mogelijk om warmte van een koude plek naar een warmere te transporteren. Dit gaat alleen niet

vanzelf. Bij een koelkast of diepvrieskast wordt warmte van binnen (koud) naar buiten (warmer) getransporteerd. Vanzelf gaat dit koelen niet. Er is elektrische energie voor nodig.

Afkoelen door verdampen

Als je je vinger nat maakt en in de wind houdt, voel je dat deze kouder wordt. De huid wordt afgekoeld omdat het water verdampt. Blijkbaar is er voor het verdampen warmte nodig, die door je vinger geleverd wordt. Een stof als ether of aceton verdampt sneller dan water. Je

vinger zal daardoor meer afkoelen.

Hieronder staan twee proeven beschreven. Vraag je leraar welke je doen kunt. Niet alle scholen beschikken namelijk over het benodigde materiaal.

fig. 26

Blazen over het horlogeglas.



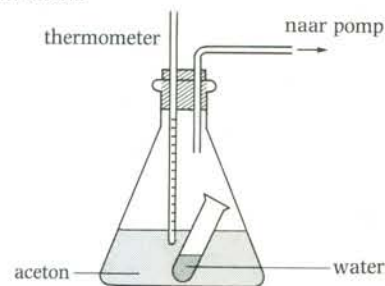
1 Neem een horlogeglasje met wat aceton. Maak de bodem aan de onderkant vochtig, zodanig dat er wat waterdruppels aan hangen. Ga bij een open raam staan (of bij een zuurkast) en blaas bijvoorbeeld met een fietspomp lucht over de aceton. Pas op dat je niet te veel damp binnen krijgt (figuur 26) en blaas de vloeibare aceton niet weg!

Wat zie je aan de onderzijde van het horlogeglas gebeuren met de waterdruppels?

Wat is hiervan de oorzaak?

fig. 27

Erlenmeyer met aceton.



2 Neem een erlenmeyer met aceton die kan worden afgesloten met een stop waar een kort buisje en een thermometer doorheen zijn gestoken. Het buisje mag alleen tot in de dampruimte komen; de thermometer moet in de vloeibare aceton staan. Verbindt het buisje met een vacuümpomp. In de erlenmeyer zet je een reageerbuisje met 1 cm³ water. Zet de pomp aan (figuur 27).

Lees de thermometer om de 30 seconden af en verklaar wat je ziet.

Koelkast

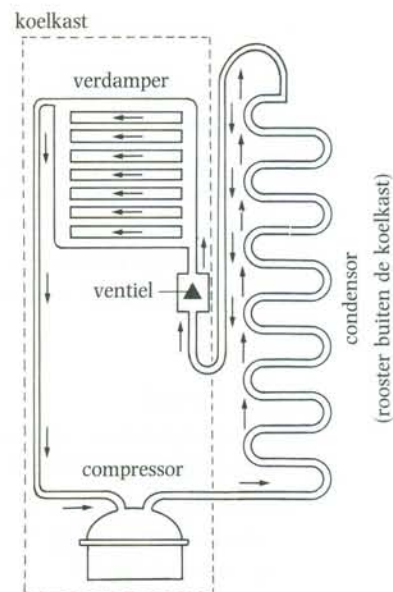
Als je de druk boven een vloeistof verlaagt, zal deze sneller verdampen, zodat de temperatuur van die vloeistof daalt. Hiervan wordt in een koelkast gebruik gemaakt (figuur 28). Als koelvloeistof gebruikt men een stof met een laag kookpunt. Vroeger gebruikte men vaak freon. Omdat deze stof de ozonlaag aantast, wordt deze niet meer gebruikt. Het koelmiddel circuleert door een buizenstelsel. In dit buizenstelsel zijn opgenomen:

- een compressor;
- een verdamper;
- een radiator;
- een ventiel.

De compressor is een pomp die de damp aanzuigt en samenperst. Het koelmiddel in de verdamper zal snel verdampen als de compressor de druk verlaagt door de damp weg te zuigen. De temperatuur in de verdamper zal dan sterk dalen omdat voor het verdampen warmte nodig is. De verdamper zit binnen in de koelkast. De ruimte in de koelkast wordt dus gekoeld.

De compressor perst de aangezogen damp samen in de condensor. De dampdruk wordt hier groot. Het gevolg is dat de damp weer zal condenseren.

fig. 28
Koelkast.



Hierbij staat de stof warmte af, zodat de condensor warm wordt. De condensor zit buiten aan de achterkant van de koelkast. De warmte wordt buiten de kast afgevoerd door een radiator. Het koelmiddel komt via een ventiel weer in de verdamper.

3 Wat is de functie van het ventiel?

4a Bekijk de koelkast of diepvrieskast thuis en zoek de verdamper en de condensor op.

b Waarom zit de verdamper meestal boven in de koelkast?

5 Houd je hand tegen de condensor als de koelkast uit is en daarna als hij werkt. Wat merk je op?

6a Wat is de functie van de condensor?

b Waarom zijn de buisjes van de condensor lang en dun?

c Waarom zijn ze zwart?

7 Waarom is een koelkast meestal wit?

8 Het achterste deel van het bovenblad van een koelkast steekt meestal uit en bovendien zitten er openingen in.

Waarom?

9 Waarom moeten sommige koelkasten geregeld ontdooid worden?

10 In de handleiding van koelkasten staat dat de kast na versjouden 24 uur moet blijven staan voordat hij aangezet mag worden.

Geef daarvoor een reden.

11 Leg uit waarom een koelkast in een koude ruimte minder elektrische energie verbruikt dan in een warme ruimte.

12 In een volledig geïsoleerde kamer (er kan dus geen warmte naar binnen of buiten) zet je de koelkastdeur open, omdat je het warm hebt.

Is dit verstandig? Licht je antwoord toe.

13 Waar is de elektrische energie bij de koelkast voor nodig?

14 Waarom moet je de ruimte in de koelkast blijven koelen?

15 Waarvoor dient de thermostaat in de koelkast?

16 Waarom zit de thermostaat meestal aan de bovenzijde in de koelkast?

Thermo-element en bimetaalthermometer

Soms kun je voor het meten van de temperatuur geen vloeistofthermometer gebruiken. Als het voorwerp, waarvan je de temperatuur wilt meten, heel klein is, of als de temperatuur te hoog is om met een vloeistofthermometer te worden bepaald (bv. in een elektrische oven) gebruik je een thermo-element. In deze extrastof maak je zelf zo'n thermo-element. Je gaat er ook mee meten.

Benodigd materiaal:

- Bekerglas op driepoot met gaasje.
- Twee koperdraden van 30 cm en 30 cm constantaandraad of een thermokoppel.
- Gereedschap, hamer, tang.
- Gevoelige stroommeter.

Neem een 30 cm lang stuk constantaandraad (diameter 0,2 mm).

Maak de koperdraden vast aan de beide uiteinden van het constantaandraad.

Draai de draden stevig in elkaar. Je moet dan wel de uiteinden plat slaan, ze eventueel solderen en daarna zo kort mogelijk afknippen. Het thermo-element is klaar voor gebruik.



eerst de uiteinden van de koperdraad en de constantaandraad stevig in elkaar draaien



dan de contactplaatsen platslaan en eventueel nog vastsolderen



daarna de verbindingpunten zo kort mogelijk afknippen

Een thermo-element bestaat uit twee soorten metaal, gescheiden door twee lassen.

Tussen de uiteinden van de koperdraden ontstaat een thermo-spanning. De grootte van die spanning hangt af van het temperatuurverschil tussen de warme en de koude las. De thermospanning neemt toe als het temperatuurverschil groter wordt. Dit thermo-element kun je dus als thermometer gebruiken. Je moet dan eerst het verband weten tussen de spanning en de temperatuur: je moet het thermo-element ijken.

Ijken van het thermo-element

Verbind de losse uiteinden van het thermo-element met een gevoelige stroommeter. Hang de warme las in een bekerglas met water en zorg ervoor dat de koude las een constante temperatuur houdt (kamertemperatuur). Verwarm nu het water in het bekerglas. Als je voor het verwarmen een gasvlam gebruikt, zorg dan dat de koude las uit de buurt van de vlam blijft. Lees de stroommeter tijdens het verwarmen regelmatig af. Lees gelijktijdig de temperatuur van het water af. Noteer je metingen in een tabel zoals je ziet in figuur 29.

Geef het verband tussen stroomsterkte en temperatuurverschil weer door middel van een diagram (temperatuurverschil horizontaal). We noemen dit het *ijkdiagram*. Hiermee kunnen we de temperatuur van een voorwerp bepalen. Het voordeel van het gebruik van een thermo-element is, dat je de temperatuur van het voorwerp er niet of nauwelijks mee beïnvloedt. Bovendien kun je er veel hogere temperaturen mee meten dan met een thermometer.

fig. 29

Ijktabel thermo-element.

meting	temperatuur warme las (°C)	temperatuur koude las (°C)	tempe- ratuur- verschil (°C)	stroom- sterkte (mA)
1
2
3
4
5
6
7
8

1 Bepaal met het thermo-element en het ijkdiagram de temperatuur van een gasvlam.

2 Bepaal de temperatuur boven, onder en naast de radiator van de c.v.

Een ander soort thermometer dan een vloeistofthermometer is een *bimetaalthermometer*. Je vindt deze o.a. in thermostaten van centrale verwarming. Deze thermometer berust op uitzetting van metalen. Een bimetaal bestaat uit twee strippen metaal met een verschillende uitzettingscoëfficiënt (figuur 30), die zijn samengelast tot één strip. Het ene metaal zet bij verwarming meer uit dan het andere. Hierdoor zal de strip bimetaal kromtrekken bij verwarming.

Hoe groter de temperatuurstijging is, hoe meer het bimetaal kromtrekt. Men bevestigt een wijzer aan het uiteinde van het bimetaal en op deze wijze kan men een thermometer maken.

Om de meter gevoeliger te maken, rolt men een lange strip bimetaal op (figuur 31).

De spiraal is in het middelpunt aan een boutje vastgemaakt. Door dat boutje te verdraaien kan men de thermometer ijken.

3 Waarom is de strip van de bimetaalthermometer opgerold?

4 Wanneer is de bimetaalthermometer het gevoeligst? Als de strip lang of kort is? Motiveer je antwoord.

5 Sommige thermostaten zijn uitgevoerd met een bimetaal-spiraal en een kwikschakelaar (figuur 32). Wat is de functie van het bimetaal in deze thermostaat?

fig. 30

strookje bimetaal



bij verwarming



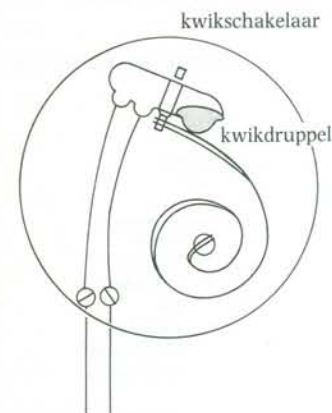
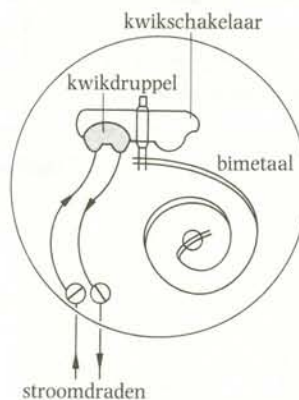
fig. 31

Bimetaalthermometer.



fig. 32

Thermostaat.



Warmtecapaciteit en soortelijke warmte

Voor deze extrastof heb je twee lesuren nodig. Er zijn drie delen: practicum, theorie en opgaven.

Warmtecapaciteit en soortelijke warmte zijn begrippen

die we nodig hebben als we denken aan de kosten van verwarmen, koken op gas of elektriciteit, warmte-opslag, weer, klimaatverschijnselen, enzovoort.

Practicum (eerste les)

Inleiding

In dit practicum gaan we bepalen hoeveel warmte er nodig is om een bepaalde hoeveelheid van een stof te verwarmen. We doen dat voor twee stoffen: water en aluminium.

Doel van de proef:

Bepalen hoeveel warmte er nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te doen stijgen.

Voor de proef heb je nodig:

- een pompelaar;
- een joulemeter;
- een spannings- en stroommeter;
- een thermometer;
- een blokje aluminium;
- water;
- een balans;
- een maatcilinder;
- een gasbrander;
- een pannetje water;
- een driepoot.

We gebruiken bij deze proef het warmte-effect van elektrische stroom. Je weet dat voor het vermogen van elektrische stroom geldt:

$$P = V \cdot I$$

Voor de warmte die de stroom levert in t seconden geldt:

$$E = P \cdot t$$

of gecombineerd:

$$E = V \cdot I \cdot t$$

E	energie	joule	J
Q	warmte	joule	J
P	vermogen	watt	W
t	tijd	seconde	s
V	spanning	volt	V
I	stroomsterkte	ampère	A
T	temperatuur	kelvin	K
		celsius	°C
ΔT	temperatuurverschil	kelvin	K (of °C)

Proef 1

- Bouw de schakeling zoals getekend in figuur 33.
- Vul de joulemeter met 150 g water. Controleer of de pompelaar (verwarmingsspiraal) zich onder water bevindt.
- Bepaal met de thermometer de begintemperatuur van het water in de joulemeter.
- Stel de spanning over de pompelaar in op ca. 10 V en meet de spanning en de stroomsterkte.
- Bepaal de tijd die nodig is om het water 10 °C te verwarmen.
- Noteer je meetgegevens overzichtelijk.
- Bereken de hoeveelheid toegevoerde warmte tijdens het 10 °C verwarmen en noteer deze in je schrift in de tabel (figuur 34).

fig. 33
Schema proefopstelling.

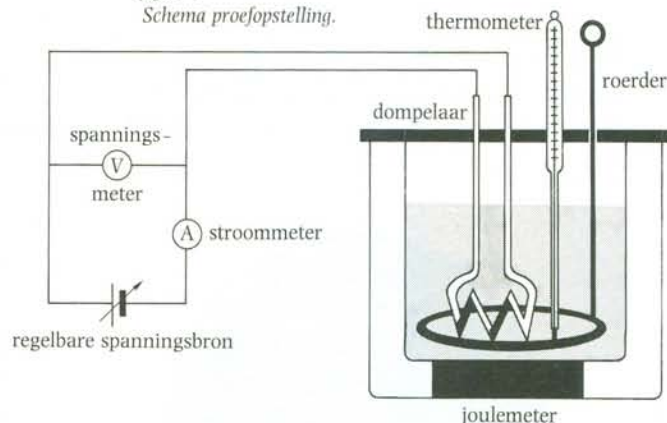


fig. 34
Tabel meetwaarden.

T_{begin}	= ...
T_{eind}	= ...
ΔT	= ...
V	= ...
I	= ...
t	= ...

De toegevoerde warmte wordt gebruikt om de met water gevulde joulemeter op te warmen. Dit betekent dat er warmte nodig is voor het opwarmen van het water én voor het opwarmen van de joulemeter. Het deel van de warmte dat voor de joulemeter nodig is, kun je berekenen als je de warmtecapaciteit van de joulemeter kent (vraag die aan je leraar of amanuensis).

De warmtecapaciteit is de hoeveelheid warmte die nodig is om een voorwerp 1°C in temperatuur te laten stijgen. Het symbool voor de warmtecapaciteit is de letter C , de eenheid is: joule/kelvin of joule/ $^{\circ}\text{C}$.

h Bereken hoeveel warmte er door de joulemeter is opgenomen.

De rest is door het water opgenomen om het 10°C in temperatuur te doen stijgen.

i Hoeveel joule is er door 150 g water opgenomen om 10°C in temperatuur te stijgen?

j Bereken hoeveel warmte 1 g water nodig heeft om 10°C in temperatuur te stijgen.

k Bereken hoeveel warmte nodig is om 1 g water 1°C in temperatuur te laten stijgen.

Proef 2

2a Bepaal de massa van een blokje aluminium.

b Breng water aan de kook en plaats het blokje aluminium er geruime tijd in.

c Meet de begintemperatuur van het water in de joulemeter.

d Breng het blokje aluminium snel over uit de pan kokend water naar de joulemeter en bepaal de hoogste eindtemperatuur in de joulemeter. Draai daarbij de joulemeter in een kringetje rond, zodat een roereffect optreedt!

e Noteer alle gegevens overzichtelijk in een tabel.

Na enige tijd is de temperatuur van het water, de joulemeter en het blokje gelijk geworden. De temperatuur

van het water is gestegen, die van het blokje aluminium gedaald. Het blokje heeft dus warmte afgegeven aan het water en de joulemeter.

f Hoe groot is de temperatuurstijging van de joulemeter met water?

g Bereken met de warmtecapaciteit uit de vorige proef de warmte die door de joulemeter is opgenomen.

h Bereken met de resultaten van proef 1 de hoeveelheid warmte die het water heeft opgenomen.

i Waar komt deze energie vandaan?

j Bereken de temperatuurdaling van het blokje aluminium.

k Bereken de energie die het blokje aluminium heeft afgegeven.

l Bereken de energie die het blokje aluminium afgeeft als het 1°C in temperatuur daalt.

m Bereken hoeveel energie een blokje aluminium van 1 gram afgeeft als dit 1°C daalt in temperatuur.

Deze waarde noemen we de *soortelijke warmte*.

De soortelijke warmte van een stof is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 gram van een stof 1°C in temperatuur te laten stijgen.

n Wat is de eenheid van de soortelijke warmte?

Maak in je schrift een tabel zoals in figuur 35 en vul de door jou gevonden waarden in. Vergelijk ze daarna met de waarden die onder betere omstandigheden door ervaren onderzoekers zijn gevonden.

Welke conclusie kun je uit deze tabel trekken?

Probeer de verschillen te verklaren. (Heb je onnauwkeurig gemeten, slordig afgelezen of niet op tijd gemeten?)

fig. 35

Soortelijke warmte.

jouw metingen	officiële waarden (joule per gram per kelvin)
water	... 4,2
aluminium	... 0,88

Theorie (tweede les)

De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g stof 1 K in temperatuur te doen stijgen noemen we de soortelijke warmte van die stof.

Symbool voor soortelijke warmte: kleine letter c .

Eenheid van soortelijke warmte:

$$\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \text{ (joule per gram per kelvin),}$$

of

$$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \text{ (kilojoule per kilogram per kelvin).}$$

In plaats van de kelvin wordt ook wel de graad Celsius gebruikt. Immers een temperatuurverschil in graad Celsius en in kelvin is hetzelfde.

$$\text{De soortelijke warmte van water } (c_{\text{water}}) = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

Dat betekent dat er 4,2 J warmte nodig is om 1 gram water 1 °C in temperatuur te laten stijgen.

De soortelijke warmte c is voor elke stof anders.

Water heeft een grote soortelijke warmte. Daarom kost het koken van een ketel water veel energie.

Aluminium heeft een kleine soortelijke warmte: het verwarmen van een blokje aluminium kost weinig energie. De soortelijke warmte is een stoffeigenschap. In de tabel van figuur 36 is van een aantal stoffen de soortelijke warmte opgegeven.

fig. 36

Tabel soortelijke warmte.

stof	soortelijke warmte in $\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$
aluminium	0,88
glas	0,84
glycerol	2,4
ijs	2,2
ijzer	0,46
koper	0,39
olijfolie	1,7
paraffine	2,9
petroleum	2,1
tetra	0,84
water	4,2

Voorbeeld 1

Je kunt nu met behulp van de soortelijke warmte uitrekenen hoeveel warmte er nodig is om 1 liter water 80 °C te verwarmen.

$$c_{\text{water}} = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

Dat betekent: om 1 g water 1 K te verwarmen is 4,2 J nodig.

Om 1 liter (= 1000 g) water 1 °C te verwarmen is $1000 \cdot 4,2 \text{ J} = 4200 \text{ J} = 4,2 \text{ kJ}$ nodig.

Om 1 liter 80 °C te verwarmen is nodig:

$$80 \cdot 4,2 = 336 \text{ kJ.}$$

We hebben gebruik gemaakt van de volgende regel: warmte = soortelijke warmte \times massa \times temperatuurverschil.

In formule:

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

Hierin is:

Q de warmte;

c de soortelijke warmte;

m de massa;

ΔT het temperatuurverschil.

Voorbeeld 2

Hoeveel warmte is er nodig om 100 g messing 20 K te verwarmen?

$$c_{\text{messing}} = 0,39 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

$$m = 100 \text{ g}$$

$$T = 20 \text{ K}$$

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

$$Q = 0,39 \cdot 100 \cdot 20 = 780 \text{ J}$$

Warmtecapaciteit

In veel gevallen kun je geen gebruik maken van de grootte soortelijke warmte. Je kunt bijvoorbeeld niet spreken van de soortelijke warmte van een joulemeter. De joulemeter is namelijk uit verschillende stoffen gemaakt, elk met een eigen soortelijke warmte.

In die gevallen waar het om voorwerpen gaat (en niet om stoffen) gebruiken we de grootte *warmtecapaciteit*. De warmtecapaciteit is de hoeveelheid warmte die nodig is om een voorwerp 1 °C (of 1 K) in temperatuur te doen stijgen.

Het symbool voor de warmtecapaciteit is de hoofdletter C .

De eenheid van warmtecapaciteit is $\frac{\text{J}}{\text{K}}$ of $\frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}}$

(joule per kelvin of joule per graad Celcius).

Voorbeeld

Als de warmtecapaciteit bekend is, kun je uitrekenen hoeveel energie er nodig is om een joulemeter 80 K in temperatuur te laten stijgen.

Stel de warmtecapaciteit van een joulemeter bedraagt $300 \frac{\text{J}}{\text{K}}$. Dat betekent dat er 300 J nodig is om de joulemeter 1 K te verwarmen.

Om deze joulemeter 80 K te verwarmen is dus nodig:
 $80 \cdot 300 = 24\,000 \text{ J} = 24 \text{ kJ}$.

Je maakt gebruik van de regel:

warmte = warmtecapaciteit \times temperatuurverschil.

In formule:

$$Q = C \cdot \Delta T.$$

Tenslotte: soortelijke warmte is een stofeigenschap, warmtecapaciteit is een voorwerpseigenschap. Zo heeft bijvoorbeeld een ijzeren pan (een voorwerp)

een warmtecapaciteit van $300 \frac{\text{J}}{\text{K}}$

Maar de soortelijke warmte van de stof ijzer is $0,46 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

Vragen over warmtecapaciteit en soortelijke warmte (derde les)

1 Wat is er fout aan de volgende uitspraak?

Om water te verwarmen is meer warmte nodig dan om messing te verwarmen.

2 Wat is het verschil tussen warmtecapaciteit en soortelijke warmte?

3 Hoeveel energie is er nodig om 20 g paraffine 10 K in temperatuur te laten stijgen? (Gebruik tabel fig. 36.)

4 Om 80 g van een stof 20 K te verwarmen is 3520 J nodig.

a Bereken de soortelijke warmte van die stof.

b Bepaal met behulp van de tabel om welke stof het gaat.

5 Aan 20 g koper wordt 300 J warmte toegevoerd. Bereken de temperatuurstijging van het koper.

6 Leg uit waarom water een gunstige stof is om

warmte in op te slaan. Gebruik de waarden uit de tabel (figuur 36).

7 Bereken hoeveel warmte er vrijkomt als 1 kg paraffine 20 °C in temperatuur daalt.

8 In een joulemeter giet men 100 g van een vloeistof. De temperatuur van de joulemeter stijgt daardoor 60 K. De warmtecapaciteit van de joulemeter is 200 J/K.

a Bereken hoeveel warmte de joulemeter opneemt.

b Waar komt de door de joulemeter opgenomen warmte vandaan?

De vloeistof is 20 K in temperatuur gedaald.

c Bereken de soortelijke warmte van de vloeistof.

Rekenen met soortelijke warmte

In deze extrastof ga je sommen maken over soortelijke warmte. Deze sommen zijn wat ingewikkelder dan de sommen uit E3. Voor de sommen heb je de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ nodig (zie E3 tweede les). In de sommen maak je ook gebruik van de wet van behoud van energie. Deze luidt:

Bij energieomzettingen gaat nooit energie verloren.

Waarom die laatste wet nodig is, zie je in het volgende voorbeeld.

Een blok gloeiend staal wordt in koud water afgekoeld. Na enige tijd hebben het water en het staal dezelfde temperatuur. Het water is dan in temperatuur gestegen. Je weet dat voor het verwarmen van water warmte nodig is.

Waar komt die warmte vandaan?

Het zal duidelijk zijn dat het staal afgekoeld is. Bij het afkoelen komt warmte vrij.

Dus het staal geeft warmte af (afgestane warmte). Het water neemt warmte op (opgenomen warmte).

De wet van behoud van energie zegt dat er geen energie (warmte) verloren gaat. Dus:

opgenomen warmte (door het water) = afgestane warmte (door het staal).

Van de regel: opgenomen warmte = afgestane warmte (afgekort: $Q_{\text{op}} = Q_{\text{af}}$) moet je vaak gebruik maken.

Voorbeeld 1

Hoeveel warmte komt er vrij als 100 g koper 32 K in temperatuur daalt?

De soortelijke warmte van koper is $0,4 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

Oplossing:

Tot nu toe heb je alleen sommen gemaakt waarbij het ging om temperatuurstijging.

In dit voorbeeld daalt de temperatuur.

Bij temperatuurdaling komt warmte vrij. De hoeveelheid warmte die vrijkomt is even groot als de hoeveelheid warmte die nodig is om de temperatuur evenveel graden te verhogen.

Dus als we berekenen hoeveel warmte er nodig is om het koper 32 K te verwarmen, weten we ook hoeveel er vrijkomt bij even grote temperatuurdaling.

Berekening:

$$\Delta T = 32 \text{ K}$$

$$m = 100 \text{ g}$$

$$c = 0,4 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

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

$$Q = 0,4 \cdot 100 \cdot 32 = 1280 \text{ J}$$

Er komt dus 1280 J vrij.

Voorbeeld 2

Een blokje metaal van 200 °C met een massa van 150 g wordt in een joulemeter met 200 g water van 20 °C gebracht. De eindtemperatuur van water en metaal is 33 °C.

De warmtecapaciteit van de joulemeter is $250 \frac{\text{J}}{\text{K}}$

De soortelijke warmte van water is $4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

Wat is de soortelijke warmte van het metaal?

Oplossing:

Je kunt c vinden uit de formule: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

$m = 150 \text{ g}$ en

$\Delta T = 167 \text{ K}$ (De temperatuur daalt van 200 °C naar 33 °C.)

Er is echter niet gegeven hoeveel warmte het metaal afgeeft (de Q is dus niet gegeven).

Je weet wel dat de warmte die het metaal afgeeft opgenomen wordt door het water en de joulemeter. Wanneer je berekent hoeveel de joulemeter en het water aan warmte opnemen, dan weet je ook hoeveel het metaal afstaat.

Immers: opgenomen warmte = afgestane warmte.

Opgenomen warmte:

a door het water:

$$c_{\text{water}} = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

$$m_{\text{water}} = 200 \text{ g}$$

$\Delta T = 13 \text{ K}$ (de temperatuur stijgt van 20 °C naar 33 °C)

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

$$Q_{\text{water}} = 4,2 \cdot 200 \cdot 13 = 10920 \text{ J}$$

b door de joulemeter:

$$C = 250 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\Delta T = 13 \text{ K}$$

$$Q_{\text{joulemeter}} = C \cdot \Delta T = 250 \cdot 13 = 3250 \text{ J}$$

Er is in totaal aan warmte opgenomen:

$$Q_{\text{op}} = Q_{\text{water}} + Q_{\text{joulemeter}} = 10920 \text{ J} + 3250 \text{ J} = 14170 \text{ J}$$

Dus moet er door het metaal 14170 J aan warmte zijn afgestaan.

Met dit gegeven kun je de soortelijke warmte van het metaal berekenen:

$$Q = 14170 \text{ J}$$

$$m = 150 \text{ g}$$

$$\Delta T = 167 \text{ K}$$

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

$$14170 = c \cdot 150 \cdot 167$$

$$c = \frac{14170}{150 \cdot 167} = 0,57 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

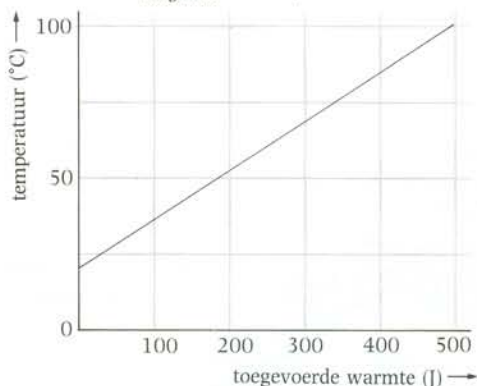
Opgaven

1 In een joulemeter giet men 100 g vloeistof. De temperatuur van de joulemeter stijgt daardoor 60 K. De warmtecapaciteit van de joulemeter is 200 J/K.

- Bereken hoeveel warmte de joulemeter opneemt.
 - Waar komt de door de joulemeter opgenomen warmte vandaan?
- De vloeistof is 20 K in temperatuur gedaald.
- Bereken de soortelijke warmte van de vloeistof.

2 In het diagram van figuur 37 is het verband weergegeven tussen de toegevoerde warmte en de temperatuur van 1 g van een stof. Bereken met behulp van de grafiek de soortelijke warmte van die stof.

fig. 37
Warmte-temperatuur-
diagram.



3 Met het volgende experiment bepaalt Marieke de soortelijke warmte van een blokje metaal. Ze vult een joulemeter met 200 g water van 10 °C. Ze dompelt het blokje geruime tijd in kokend water ($T = 100$ °C). Vervolgens brengt ze het blokje zeer snel in de joulemeter met water. De eindtemperatuur van het geheel leest ze af op een thermometer. Tenslotte weegt ze het droge blokje en noteert alléén de volgende gegevens:

$$m_{\text{water}} = 200 \text{ g}; c_{\text{water}} = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}; m_{\text{blokje}} = 180 \text{ g}$$

$$T_{\text{blokje, begin}} = 100 \text{ °C}; T_{\text{water, begin}} = 10 \text{ °C}; T_{\text{eind}} = 16 \text{ °C}$$

Hieruit berekent zij voor de soortelijke warmte van het metaal: $0,33 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

- Reken dit na met bovenstaande gegevens.

Als Marieke informeert of haar uitkomst kan kloppen, zegt de leraar dat die uitkomst ongeveer 10 % te laag is. Als Marieke zegt te hebben geprobeerd alles zo

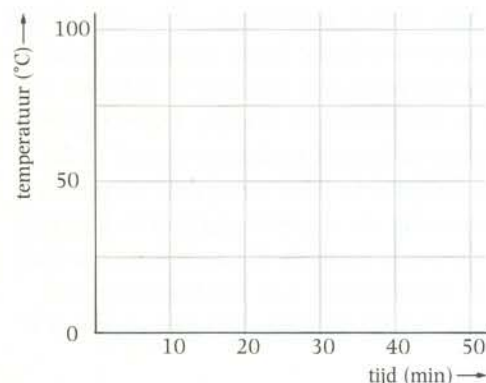
nauwkeurig mogelijk te doen controleert hij haar metingen en berekeningen. Hij zegt haar dat zij één grootheid heeft vergeten te bepalen en dat zij daarmee wél de goede uitkomst kan krijgen.

- Welke grootheid heeft Marieke vergeten te bepalen en mee te rekenen?
- Als gegeven is dat die onbekende grootheid de waarde 80 J/K bezit, laat dan door een correcte berekening zien dat $c_{\text{metaal}} = 0,365 = 0,37 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$ is (dus ca. 10 % hoger dan Marieke aanvankelijk vond).

4 In glas I zit 0,2 dm³ water van 80 °C. In glas II zit 0,1 dm³ water van 20 °C. De inhoud van glas I wordt bij de inhoud van glas II gevoegd.

- Schat de eindtemperatuur van de nieuwe inhoud van II. Motiveer je antwoord.
 - Zal de eindtemperatuur hoger of lager liggen dan de bij a geschatte waarde als je ook rekening houdt met de warmtecapaciteit van glas II?
- Het geleegde glas I staat daarna enige tijd in een kamer van 20 °C.
- Schets in een temperatuur-tijddiagram het verloop van de temperatuur van glas I (zie figuur 38). Op $t = 0$ seconden was glas I juist uitgeschonken in glas II.

fig. 38
Temperatuur-tijddiagram.



5 In een boiler (warmtecapaciteit 2000 J/K) laat men 80 liter water stromen van 20 °C. Dit water wordt verwarmd tot 80 °C.

- Hoeveel energie is daar in totaal voor nodig? De boiler wordt elektrisch verwarmd door een soort dompelaar met een vermogen van 2000 W.
- Hoe lang duurt het opwarmen?
- Hoeveel elektrische energie wordt er door de boiler tijdens het opwarmen opgenomen, als het rendement van de boiler 80% is?

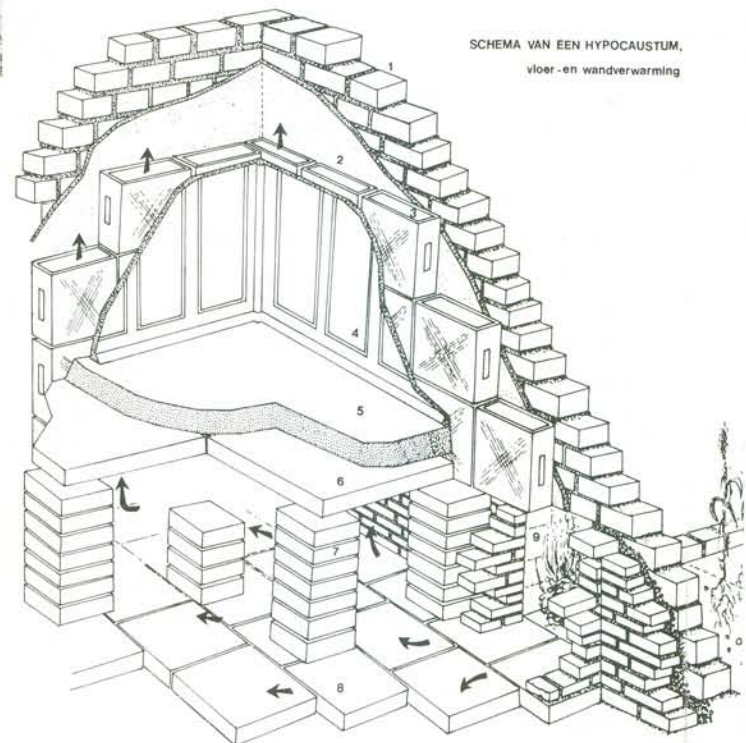
In koudere landen stond in vroeger tijden een stenen haard in het midden van het woonvertrek. De rookgassen verdwenen via een opening in het dak. Schoorstenen werden pas later toegepast in de middeleeuwse steden (figuur 39). In de achttiende eeuw werden steenkool en in de negentiende eeuw ook aardoliebrandstoffen van betekenis. Men ging toen in afgesloten stenen en stalen kachels stoken en leidde de hete gassen via kanalen door muren en vloeren. Men kon het gehele huis zo op een schone manier verwarmen.

fig. 39
Open schouwven met
stenen schoorsteen.



fig. 40
Verwarming in een Romeinse villa.

Dit systeem van centrale verwarming is in de loop van de geschiedenis verscheidene keren toegepast. Zo'n 3000 jaar geleden werd deze methode al gebruikt in een paleis in de Turkse plaats Arzawa. Deze verwarmingsmethode ging daarna verloren en werd in de Romeinse tijd herontdekt. Men paste deze vorm van centrale verwarming toe in veel huizen in de koudere gebieden van het rijk, en in de thermen (centrale badhuizen). Bij de ineenstorting van het Romeinse Rijk ging deze vorm van verwarming verloren (figuur 40).



SCHEMA VAN EEN HYPOCAUSTUM,
vloer- en wandverwarming

- 1 BUITENMUUR
- 2 PLEISTERLAAG
- 3 TUBULI, WANDVERWARMINGSBUIZEN
- 4 BESCHILDERD STUC
- 5 MORTELVLOER
- 6 GROTE DRAAGTEGELS
- 7 PIJLERS VAN TEGELS
- 8 TEGELVLOER
- 9 STOOKPLAATS

Pas in de vorige eeuw werden weer nieuwe centrale-verwarmingsmethoden ontwikkeld. De verwarmingsketel stond in eerste instantie in een van de lagere vertrekken. De warmte steeg, door de kleinere dichtheid van de verwarmde vloeistof, via de buizenstelsels omhoog naar de hoger gelegen vertrekken. Tegenwoordig wordt de ketel om praktische redenen (kortere schoorsteen, dus minder kostbaar en ruimtewinst) niet meer in de woonkamer of de keuken geplaatst. Vaak staat de ketel op zolder. Om alle vertrekken te verwarmen moet het water rondgepompt worden. De toepassing van een circulatiepomp in plaats van natuurlijke circulatie maakte het ook mogelijk veel dünnere buizen te gebruiken. Dit is niet alleen goedkoper, maar ook veel fraaier.

Door de voortgaande technische ontwikkeling kennen we tegenwoordig meerdere verwarmingsmethoden. In veel nieuwe huizen wordt geen warm water meer rondgepompt, maar verwarmde lucht. De verwarming van het vertrek wordt met kleppen geregeld. Deze kleppen zijn te vergelijken met de radiatorkranen van de centrale verwarming.

In sommige nieuwbouwwijken wordt *stadsverwarming* toegepast. Dit is een vorm van verwarming waarbij vanaf een centrale plaats (een stookhuis, een fabriek of een elektriciteitscentrale), warm water via een leidingenstelsel naar de woningen getransporteerd wordt. Dit systeem heeft het voordeel dat niet iedere woning hoeft te beschikken over een c.v.-ketel en een schoorsteen. Uit ervaring is gebleken dat deze vorm van verwarmen meestal niet rendabel is als er een eigen stookhuis is. Er gaat tijdens het transport relatief veel warmte verloren. Als er gebruik wordt gemaakt van 'afvalwarmte' van een fabriek of centrale is dit wel een rendabele manier van verwarmen, omdat deze warmte anders verloren zou zijn gegaan. Het leggen van vaak kilometers lange goed geïsoleerde leidingen is echter erg kostbaar. Daarom is dit systeem pas op de lange duur rendabel.

Op veel andere plaatsen waar geen stadsverwarming is, heeft men de laatste jaren verbeterde verwarmingsketels (zogenaamde hoog-rendementsketels) geplaatst. Deze ketels zorgen door de modernere technieken voor een betere verbranding van het aardgas. Hierdoor wordt de hoeveelheid schadelijk rookgas en dus de hoeveelheid zure regen, verminderd.

fig. 41
Doorsnede c.v.-ketel, gesloten en open systeem.

