

## Blok 14 | Energie (3)



### Inhoudsopgave basisstof

	bladzijde
P 1. Temperatuur en warmte	4
P 2. Warmtetransport	6
P 3. Warmtecapaciteit en soortelijke warmte	11
T 1. Temperatuur en warmte	13
T 2. Warmtetransport	15
T 3. Warmtecapaciteit en soortelijke warmte	17
T 4. Rekenen met soortelijke warmte	19
W 1. Temperatuur en warmte	21
W 2. Warmtetransport	21
W 3. Warmtecapaciteit en soortelijke warmte	22
W 4. Rekenen met soortelijke warmte	23

De volgorde waarin je de paragrafen het beste kunt doorwerken is:

P 1, T 1, W 1,  
P 2, T 2, W 2,  
P 3, T 3, W 3,  
T 4, W 4.

### Overzicht differentiële stof

Herhaalstof	bladzijde
H 1. Factoren die de grootte van het warmtetransport bepalen	25
H 2. Soortelijke warmte en warmtecapaciteit	27
H 1. Antwoordblad	30
H 2. Antwoordblad	31

Hieronder staan de extra stof bladen, die je kunt doen na dit blok.

Wil je meer weten over de inhoud van deze bladen, lees dan de catalogus voor de extra stof.

#### Extra stof bij je eigen lesmateriaal

82. De koelkast	32
128. Thermo-element en bimetaalthermometer	33

## Blok 14 Leerdoelen

### Wat moet je kunnen aan het eind van blok 14

	Te vinden in:
1 Je moet de eenheid van warmte en temperatuur kennen.	T 1
2 Je moet het verschil kunnen aangeven tussen warmte en temperatuur.	T 1, T 3
3 Je moet kunnen aangeven waarom het noodzakelijk is om een thermometer te gebruiken, als je de temperatuur wilt meten.	P 1
4 Je moet °C en K in elkaar kunnen omrekenen.	T 1
5 Je moet drie manieren kennen, waarop warmtetransport kan plaatsvinden.	T 2
6 Je moet drie stoffen kennen, die de warmte goed geleiden en drie die de warmte slecht geleiden.	T 2
7 Je moet twee factoren kunnen aangeven, die de grootte van het warmte-transport bij warmtegeleiding bepalen.	T 2
8 Je moet kunnen verklaren waarom sommige stoffen kouder aanvoelen dan andere, terwijl ze toch dezelfde temperatuur hebben.	P 2, T 2
9 Je moet drie toepassingen kennen van warmte-isolatie met behulp van stilstaande lucht.	P 2, T 2
10 Je moet kunnen aangeven wat het verschil is tussen warmtestroming en warmtegeleiding.	T 2
11 Je moet kunnen verklaren waarom warme lucht of warm water opstijgt	T 2
12 Je moet weten hoe warmtetransport plaatsvindt bij straling.	P 2, T 2, W 2
13 Je moet drie factoren kennen, die bij een voorwerp, de hoeveelheid uitgezonden straling bepalen.	T 2
14 Je moet weten wat er met straling gebeurt, als deze op een donker gekleurd voorwerp valt.	T 3
15 Je moet weten welke rol kleur speelt bij absorptie en uitstraling.	T 2
16 Je moet drie andere soorten straling kunnen noemen.	T 2
17 Je moet weten op welke manieren je het warmteverlies bij warmte-opslag zoveel mogelijk kunt beperken.	P 2, T 2
18 Je moet weten hoe je de hoeveelheid warmte berekent die een pompelaar levert, als je het vermogen van de pompelaar kent.	P 3, Blok 13
19 Je moet weten wat we onder de soortelijke warmte van een stof verstaan.	T 3
20 Je moet de eenheid van soortelijke warmte kennen.	T 3
21 Je moet weten wat we onder de warmtecapaciteit van een voorwerp verstaan.	T 3
22 Je moet de eenheid van warmtecapaciteit kennen.	T 3
23 Je moet weten hoe je de soortelijke warmte kunt bepalen met een proef.	T 3
24 Je moet de formules $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ en $Q = k \cdot \Delta T$ kennen en kunnen toepassen in de sommen van W 3 en W 4.	T 3, W 3 T 4, W 4
25 Je moet de wet van behoud van energie kennen en kunnen gebruiken in de sommen van W 4.	T 4, W 4

# Blok 14 Temperatuur en warmte

## P 1 Temperatuur en warmte

Waarom hebben we een thermometer nodig om de temperatuur af te lezen?

1  
Neem drie bekers met water. In het eerste doe je koud water. In het tweede glas doe je lauw water en in het derde glas doe je warm water. Het water moet zo warm zijn, dat je je vingers er nog net in kunt houden zonder ze te branden. Houd nu eerst je wijsvinger in het koude water en doe hem daarna in het lauwe water. Houd dan dezelfde vinger in het warme water en doe hem daarna weer in het lauwe water. Wat voel je de eerste keer?

En wat voel je de tweede keer?

2  
Schat met behulp van je waarnemingen uit proef 1 de temperatuur van het water in de drie bekers.

De temperatuur van het koude water is ..... °C.

De temperatuur van het lauwe water is ..... °C.

De temperatuur van het warme water is ..... °C.

3  
Meet met een thermometer de temperatuur in de drie glazen. Let op dat je de temperatuur op de juiste manier afleest. Houd je oog op de juiste hoogte, dat wil zeggen op dezelfde hoogte als het kwik staat. Ga eens na hoeveel graden je de thermometer verkeerd af kunt lezen als je je oog te hoog of te laag houdt (zie tekening).

De temperatuur van het koude water is ..... °C.

De temperatuur van het lauwe water is ..... °C.

De temperatuur van het warme water is ..... °C.

4  
Houd je wijsvinger in een bak met lauw water. Voel daarna hoe warm het water is als je je elleboog gebruikt.

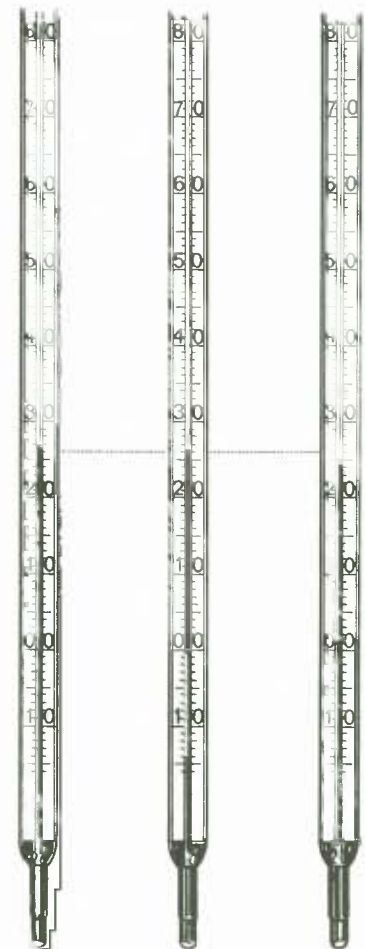
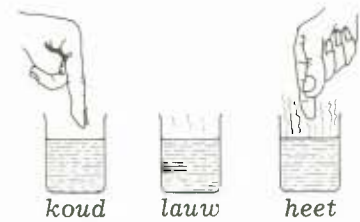
Wat voor verschil voel je? .....

Ons lichaam beschikt over een zintuig om temperatuur te meten. Schrijf op waarom dit zintuig in de natuurkunde niet als thermometer gebruikt kan worden.

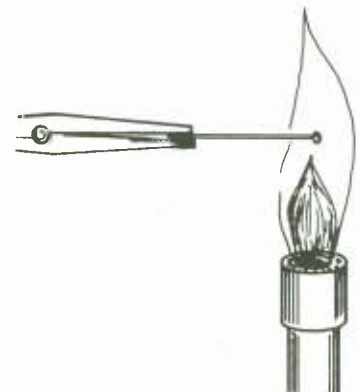
Hoge temperatuur, lage temperatuur; veel warmte en weinig warmte.

5  
De temperatuur van een laboratoriumgasbrander is ongeveer 450°C. Houd de kop van een kopseld in de vlam van een gasbrander. Gebruik een tang of pincet! Wat zal na enige tijd de temperatuur van de kop zijn?

Drie bekers met water



oog te laag: juiste hoogte: oog te hoog:  
aflezing juiste aflezing aflezing  
te hoog. aflezing te laag.





Stop nu de kopspeld snel in een bekerglas met water, waarin een thermometer staat. Wat gebeurt er met de temperatuur van het water? (Lees de thermometer af).

6

We doen nu proef 5 nog eens, maar nu verwarmen we een stalen kogel. Houd de kogel vast met een tang en verwarm hem 2 minuten in de vlam van de gasbrander. Laat nu de kogel snel in een zelfde bekerglas met water zakken. Wat gebeurt er nu met de temperatuur van het water? (Lees de thermometer af).

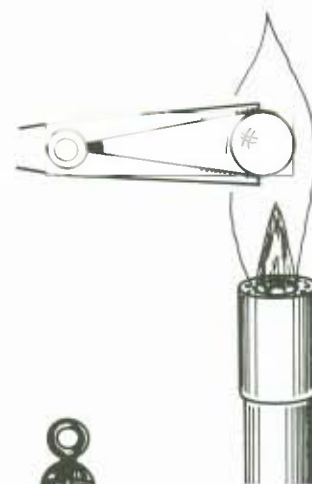
Bedenk een verklaring voor het verschil, dat je hebt gevonden bij proef 5 en proef 6.

7

Bekijk een kwikthermometer goed. Lees hem af. Houd hem nu op zijn kop. Verandert de stand van het kwik?

Houd hem nu in een bekerglas met heet water. Wat gebeurt er met het kwik?

Kun je hier een verklaring voor bedenken?



*laboratoriumthermometer*

# P 2 Warmtetransport

## A. Geleiding

Misschien heb je je vinger wel eens gebrand aan een hete pan of een ander heet voorwerp. Meestal waren die voorwerpen van metaal. Als een pan een plastic of houten handvat heeft, kun je hem zonder problemen vastpakken. Toch wordt er dan ook warmte getransporteerd naar je hand maar dit gaat nu veel langzamer dan wanneer de warmte via het metaal naar je hand stroomt.

We gaan het verschijnsel van warmtegeleiding nader onderzoeken.

1

Neem een 50 cm lange, hol gebogen strip van aluminium, koper of ijzer.

Bevestig deze horizontaal in een statief.

Zorg dat je de strip aan één kant met een gasbrander kunt verwarmen.

Leg op onderlinge afstand van 5 cm luciferkoppen of wasbolletjes op de strip. Verwarm nu de strip aan één kant met de gasbrander. Wat neem je waar?



We zeggen dat de metalen strip de warmte geleidt. Er is sprake van warmtetransport door geleiding.

2

Je hebt voor deze proef voorwerpen die van verschillend materiaal gemaakt zijn nodig. Bijvoorbeeld een ijzeren blokje, een houten blokje, een aluminium blokje, een kurk, een glasstaaf.

De voorwerpen moeten al lange tijd in het lokaal gelegen hebben, zodat ze allemaal dezelfde temperatuur hebben.

Als je nu eerst het ijzeren blokje aanraakt en daarna het houten, merk je dat het ijzeren blokje kouder aanvoelt dan het houten blokje.

Onderzoek op die manier de voorwerpen en noteer je resultaten in de tabel.

voorwerp	
ijzeren blokje	voelt koud aan
houten blokje	voelt minder koud aan
glasstaaf	
aluminium blokje	
kurk	
messing blokje	
steen	
papier	

### Vul in:

De temperatuur van je hand is hoger/lager dan de temperatuur van de voorwerpen.

Wordt er dus warmte getransporteerd van je hand naar de voorwerpen of juist van de voorwerpen naar je hand?

Probeer nu te verklaren waarom het ijzeren blokje kouder aanvoelt dan het houten blokje.

3

We gaan nu voorwerpen die **niet brandbaar** zijn verwarmen in de gasvlam van een brander.

We houden de voorwerpen gewoon vast met onze handen tot ze warm worden. Je moet de voorwerpen op gelijke afstand tot de vlam vasthouden.

Noteer in de tabel hoe lang je een voorwerp kunt vasthouden.

voorwerp	tijd
ijzeren staaf	
glasstaaf	
aluminium staaf	
messaging staaf	
kopergaas	
handvat van een pan	
steen	

Rangschik de voorwerpen naar de tijd dat je ze vast kunt houden (zet nummers in de tabel boven).

Probeer te verklaren waarom je de glazen staaf langer vast kunt houden dan de ijzeren



*Net zo lang vasthouden tot het te warm wordt!*

#### 4 Warmte isolatoren

Stoffen die warmte slecht doorgeven, noemen we isolatoren. In deze proef gaan we isolatoren onderzoeken. We hebben nodig:

- twee dezelfde blikjes;
- twee thermometers;
- heet water (90 à 100° C);
- een stopwatch of een horloge met een sekondewijzer;
- isolatiemateriaal.

Om één van de blikjes brengen we isolatiemateriaal aan. Dit kan per groepje verschillend materiaal zijn, zoals watten, glaswol, kunststofschuim, een wollen doek, stilstaande lucht (door het blokje op kurk of karton in een ruimer glas met deksel te zetten).

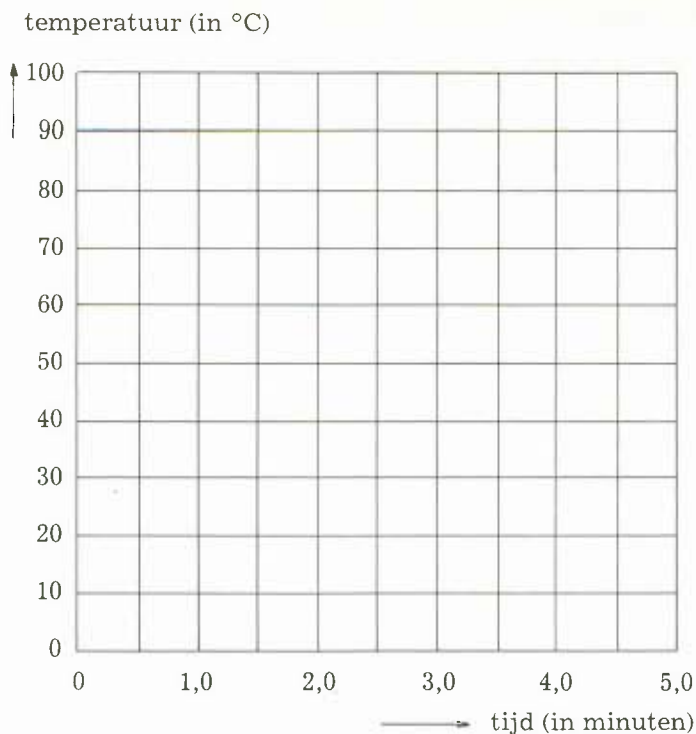
- a. We gieten nu het hete water in de blikjes en lezen om de minuut de temperatuur af gedurende 10 minuten.  
Noteer de metingen in de tabel.

Laat de blikjes hierna gewoon staan om de temperatuur aan het einde van de les nog eens af te lezen.

Maak een grafiek waarin je het temperatuurverloop van de beide blikjes met water duidelijk kunt waarnemen.

Welke van de twee blikjes koelde gedurende de 10 minuten het snelst af?

Waar-neming	Tijd (minuten)	Temperatuur niet geïsoleerd blikje °C	Temperatuur geïsoleerd blikje °C
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			



- b. Bekijk nu apart het temperatuurverloop van het water in het niet geïsoleerde blikje.

Hoeveel graden daalde de temperatuur van het water in het niet-geïsoleerde blikje in de eerste minuut? ..... °C.

En in de vijfde minuut? ..... °C.

Wanneer was het warmtetransport het grootst, aan het begin of aan het eind? .....

Waarom is dat zo, denk je?

.....

.....

- c. Vergelijk de resultaten van jouw groep met de resultaten van groepen die ander materiaal hebben gebruikt.

Welke stof kun je het beste gebruiken als isolatiemateriaal?

.....

.....

### Samenvatting

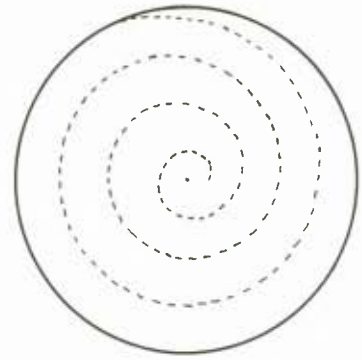
In bovenstaande proef hebben we ontdekt dat twee zaken het warmtetransport beïnvloeden. Omschrijf ze zo goed mogelijk.

1. ....
2. ....



## B. Strooming van warmte

In dit praktikum gaan we het verschijnsel strooming als gevolg van verwarming bij lucht en water nader onderzoeken.



*kartonnen schijf inknippen volgens stippellijn*

### Hoe stroomt warme lucht?

5

Steek een kaars aan.

Houd boven de vlam een kartonnen spiraal (zie tekening).

a. Wat neem je waar?

.....

.....

Verklaar dit .....

.....

b. Waar komt volgens jou de omhoog stromende lucht vandaan?

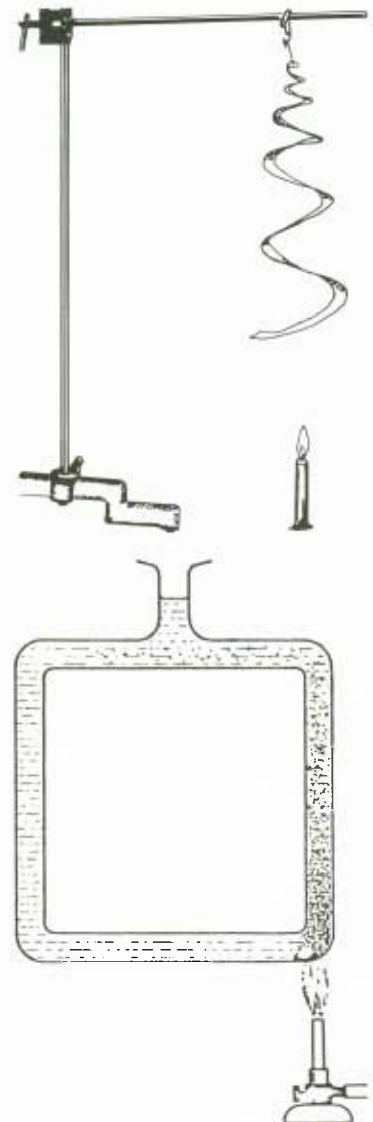
.....

Als je goed kijkt, dan zie je dat bij de vlam het kaarsvet gesmolten is. Aan de rand is het kaarsvet nog vast.

c. Waardoor wordt de rand van de kaars gekoeld? (Denk aan b.)

.....

d. Schets de luchtstromen die bij een kaars optreden.



### Hoe stroomt warm water?

6

Vul de hiernaast getekende buis met water. Doe er talkpoeder of kaliumpermanganaat (scheikundige formule =  $\text{KMnO}_4$ ) bij om goed te kunnen zien hoe het water stroomt.

Verwarm de buis op de aangegeven plaats.

a. Geef in de tekening aan hoe het water gaat stromen.

b. Verklaar dit .....

.....

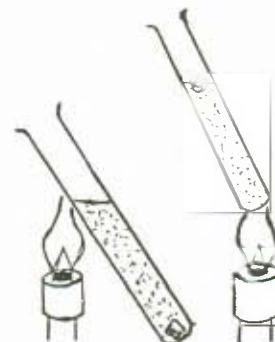
.....

.....

7

Vul twee bakjes, die even groot zijn, precies tot de helft met water. Laat in het ene bakje een schroefje of een moertje vallen. Zet nu de beide bakjes in het vriesvak. Als het water bevroren is, doe dan de beide ijsklontjes in een reageerbuis met water. Het ijs met het schroefje zal naar beneden zakken. Het ijs zonder schroefje zal blijven drijven. Houd nu de beide reageerbuisen boven een gasvlam op de wijze van de tekening hiernaast. Welk klontje ijs is het eerst gesmolten?

.....



a. In welk geval verwacht je dat er geen stroming is?

b. Probeer te verklaren waarom er bij de ene proef wel en bij de andere proef geen stroming is:

Vul de volgende konklusies aan.

1. Warm water stijgt in koud water. Dat blijkt uit de proeven

2. Water is een slechte warmte geleider want

### C. Straling van warmte

Als je voor de kachel staat, voel je met je hand dat die kachel warmte afgeeft.

Je krijgt die warmte niet via stroming, want de verwarmde lucht stroomt omhoog. Via geleiding kan ook niet, want lucht is een slechte warmtegeleider. We zeggen dat de kachel warmte uitstraalt.

Straling is naast geleiding en stroming een vorm van warmtetransport.

Voorbeeld: de zon straalt zijn warmte naar de aarde.

In de volgende proeven gaan we warmtestraling nader onderzoeken.

8

Voor deze proef heb je nodig:

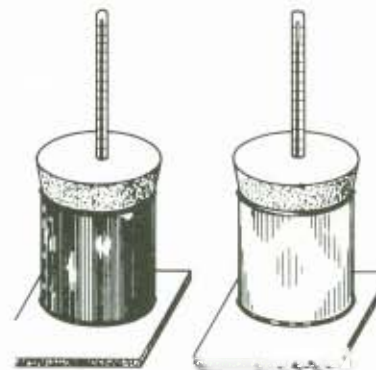
- 2 gelijke groenteblikjes. De ene zwart geverfd; de andere is gewoon glimmend.
- 2 deksels van piepschuim met een opening voor een thermometer.
- 2 thermometers.
- 2 stukken karton (hout of tempex mag ook).
- kokend water.

Zet de blikjes op een stuk karton en vul ze met evenveel kokend water.

Sluit de blikken af.

Lees nu elke minuut de temperatuur af en vul je gevonden waarden in in de tabel.

Welk blikje koelt het snelst af?



Waar-neming	tijd (min)	temperatuur zwarte blik (°C)	temperatuur glimmende blik (°C)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
12.			
13.			
14.			
15.			

### Konklusie

# P 3 Warmtekapaciteit en soortelijke warmte

## Inleiding

In dit praktikum gaan we bepalen hoeveel warmte er nodig is om een bepaalde hoeveelheid van een stof te verwarmen.

We gaan dat doen voor 3 stoffen: water, messing en aluminium.

Aan het einde van de proef is je weer iets meer duidelijk over het verschil tussen warmte en temperatuur.

## Het doel

We gaan bepalen hoeveel warmte er nodig is om 1 g van een stof  $1^{\circ}\text{C}$  in temperatuur te doen stijgen.

## De proef

We hebben voor de proef nodig: een dompelaar,  
een joulemeter,  
een volt- en ampèremeter,  
een thermometer,  
een stuk messing,  
een stuk aluminium,  
water.

Het doel van de proef is te bepalen hoeveel warmte er nodig is om 1 g van een stof  $1^{\circ}\text{C}$  in temperatuur te laten stijgen.

Om dat te kunnen meten moet je een manier hebben om de hoeveelheid warmte te bepalen die de stof opneemt.

We doen dat door gebruik te maken van het warmte-effekt van een elektrische stroom. Uit blok 13 weet je dat het vermogen van een elektrische stroom gelijk is aan spanning  $\times$  stroomsterkte of  $P = V \cdot I$

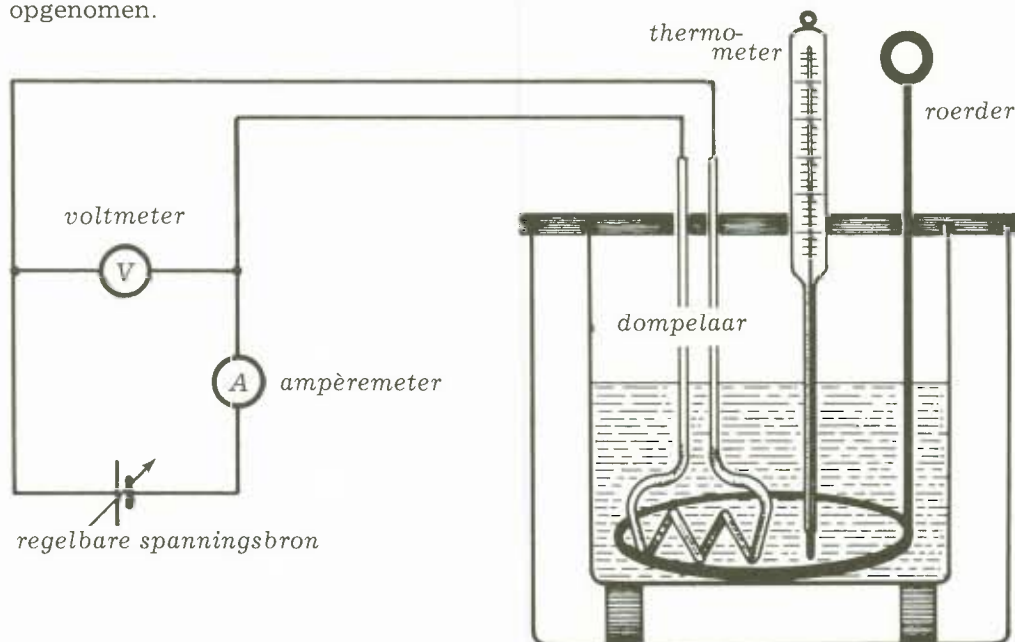
De warmte die de stroom levert in  $t$  seconde is dan:

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

Bouw de opstelling die hieronder getekend is.

We meten de spanning over en de stroomsterkte door de dompelaar. Met een stopwatch kun je de tijd bepalen dat de stroom loopt.

Uit die gegevens kun je dan berekenen hoeveel warmte het water heeft opgenomen.



## De eerste meting

Vul de joulemeter met 100 g water. Controleer of de dompelaar zich onder water bevindt.

Sluit de dompelaar aan. Schakel de stroom nog niet in.

Steek de thermometer in de joulemeter.

Meet nu de tijd die de stroom nodig heeft om het water  $10^{\circ}\text{C}$  te verwarmen. Lees tijdens het verwarmen de voltmeter en de ampèremeter af.

Vul de gegevens hieronder in.

$$\begin{array}{l} V = \dots\dots\dots \\ I = \dots\dots\dots \\ t = \dots\dots\dots \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} V = \dots\dots\dots \\ I = \dots\dots\dots \\ t = \dots\dots\dots \end{array}} \right\} \quad E = V \cdot I \cdot t = \dots\dots\dots \text{ J.}$$

Een deel van de warmte wordt gebruikt om de joulemeter te verwarmen.

Vraag aan je leraar hoeveel:  $\dots\dots\dots$  J.

De rest is door het water opgenomen om  $10^\circ\text{C}$  in temperatuur te doen stijgen.

100 g water heeft  $\dots\dots\dots$  J opgenomen om  $10^\circ\text{C}$  in temperatuur te stijgen.

Vragen:

Hoeveel heeft 1 g water dan nodig om  $10^\circ\text{C}$  in temperatuur te stijgen?

$\dots\dots\dots$  J.

Hoeveel is er dan nodig om 1 g water  $1^\circ\text{C}$  in temperatuur te laten stijgen?

$\dots\dots\dots$  J.

Vul dit getal in in tabel 1 onder aan de bladzijde.

### De tweede meting

Vul de joulemeter opnieuw met water maar voeg er nu een blokje messing aan toe.

Verwarm het geheel weer  $10^\circ\text{C}$ .

Meet weer V, I en t.  $V = \dots\dots\dots$   $I = \dots\dots\dots$   $t = \dots\dots\dots$

Bereken eerst uit de gegevens hoeveel er nodig is om het blokje messing  $10^\circ\text{C}$  in temperatuur te laten stijgen.

$\dots\dots\dots$

Bereken vervolgens hoeveel warmte er nodig is om 1 g messing  $1^\circ\text{C}$  in temperatuur te laten stijgen.

$\dots\dots\dots$

Vul de waarde in in de tabel.

### De derde meting

Bepaal nu hoeveel warmte er nodig is om 1 g aluminium  $1^\circ\text{C}$  in temperatuur te laten stijgen.

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

Vul de waarde in in de tabel.

tabel 1

water	
messing	
aluminium	

tabel 2

water	$4,2 \frac{\text{J}}{\text{g.K}}$
messing	$0,4 \frac{\text{J}}{\text{g.K}}$
aluminium	$0,9 \frac{\text{J}}{\text{g.K}}$

Trek een konklusie uit tabel 1.

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots$



### T 1 Temperatuur en warmte

„Het is warm vandaag”.

„Koud hè, met die noordenwind”.

„Lekker weertje!”.

Dit soort uitspraken kunnen we dagelijks horen als mensen elkaar ontmoeten. Dit wijst erop dat temperatuur en warmte twee grootheden zijn, die in ons leven een belangrijke rol spelen. Vooral de temperatuur van onze omgeving vinden wij belangrijk. Als die 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.

Om de lichaamstemperatuur op de juiste waarde te houden, hebben we allerlei methoden ontwikkeld. Zodra de zon niet genoeg warmte levert gaan we ons dikker kleden. Dan houden we de warmte, die we zelf produceren, vast om onze temperatuur op peil te houden. In huis gaan we dan allerlei verwarmingsapparaten gebruiken, waardoor de temperatuur aangenaam blijft. In de zomer, als de zon teveel warmte naar ons toezendt, gebruiken we allerlei koelmethode om het teveel aan warmte weer af te voeren.

Omdat warmte en temperatuur zo voornaam voor ons zijn, zullen we ons er dit hele blok mee bezig houden.

In deze eerste paragraaf willen we alles wat we van warmte en temperatuur al weten, nog eens op een rijtje zetten. Vandaar dat veel zaken die in W 1 en P 1 staan al bekend waren. Deze T-paragraaf geeft een overzicht van alles wat in vorige blokken over warmte en temperatuur is gezegd. Die kennis gaan we dan in volgende paragrafen uitbreiden.

#### Warmte

Bij energie-omzettingen wordt de ene energiesoort omgezet in de andere. Uit blok 6 weet je dat daar geen energie bij verloren gaat. Toch lijkt het wel vaak of er energie verloren is gegaan. 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 gekoeld; de banden worden warm).

Vaak is de warmte die vrijkomt bij energie-omzettingen hinderlijk. Je kunt er niet veel mee doen. Daarom wordt deze warmte als „wegwerp-energie” beschouwd: je werpt de energie weg, de lucht in.

Vanwege het „wegwerp”-karakter wordt warmte een minderwaardige soort energie genoemd. Je kunt warmte namelijk niet gemakkelijk meer omzetten in nuttige energie. Zo bevatten de oceanen op aarde een onvoorstelbare grote hoeveelheid energie, maar je kunt met deze energie vrijwel niets doen. De temperatuur van het water is te laag om bijvoorbeeld een stoommachine aan te drijven.

Als er over een energiekrisis 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 bovendien energie nooit opraken!

#### Temperatuur

Een grootheid die onverbrekkelijk met warmte verbonden is, is de temperatuur. Wat temperatuur precies is, komt hier niet aan de orde. Het heeft iets met de beweging van molekulen te maken. (Gas, vloeistof en vaste stof zijn opgebouwd uit molekulen).

Om de temperatuur te meten kun je niet op je zintuigen afgaan. Als in de winter je handen zo koud zijn geworden dat ze „tintelen” en je houdt dan je handen onder de koudwaterkraan, 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.



Koortsthermometer



Temperatuur meten we met een thermometer.

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

Wanneer de temperatuur stijgt, dan zet de vloeistof veel sneller uit dan het kapillair. De vloeistof stijgt op. Op de schaalverdeling kun je dan de temperatuur aflezen.

### Het verband tussen temperatuur en warmte.

Soms kun je dingen koud vinden, terwijl ze een heel hoge temperatuur hebben. De vonken die bij het lassen in het rond springen lijken erg gevaarlijk. Als je echter zo'n vonk op je hand krijgt voel je vrijwel niets. Toch hebben die vonken een temperatuur van ruim  $1500^{\circ}\text{C}$ . De stukjes gloeiend ijzer, want dat zijn de vonken, zijn echter zo klein dat ze te weinig warmte aan je hand afstaan om een brandblaar te veroorzaken. Een kopje heet water ( $100^{\circ}\text{C}$ ) bevat voldoende warmte om je hele vinger te verbranden.

Het verband tussen warmte en temperatuur kun je als volgt zien: wanneer een voorwerp in temperatuur stijgt, dan moet er warmte toegevoerd worden. Wanneer een stof in temperatuur daalt, dan komt er warmte vrij.

Als je een bepaalde hoeveelheid warmte nodig hebt om een stof  $10^{\circ}\text{C}$  in temperatuur te doen stijgen, dan komt er precies zoveel warmte vrij, als de stof  $10^{\circ}\text{C}$  in temperatuur daalt.

Als je twee stoffen met verschillende temperatuur bij elkaar brengt, zal er net zolang warmte blijven stromen, tot de temperatuur gelijk is.

### Eenheden van temperatuur

In het dagelijkse leven spreken we meestal over  $18^{\circ}\text{C}$  of  $22^{\circ}\text{C}$ . De eenheid die we dan gebruiken is: de graad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). In de natuurkunde wordt vooral de Kelvin (K) als eenheid gebruikt.

#### Celsius

De Zweed Celsius heeft zijn schaalverdeling als volgt gekozen:

- de temperatuur van smeltend ijs noemde hij  $0^{\circ}\text{C}$ .
- de temperatuur van kokend water noemde hij  $100^{\circ}\text{C}$ .

#### Kelvin

De Engelsman Kelvin nam  $0\text{ K}$  voor  $-273^{\circ}\text{C}$  en noemde dat het absolute nulpunt. Volgens hem kun je niet lager komen in temperatuur dan  $0\text{ K}$ .

Hiernaast zie je een schaalverdeling voor de temperatuur. Aan de rechterkant staat  $^{\circ}\text{C}$ ; aan de andere kant K.

Wanneer je van  $^{\circ}\text{C}$  wilt omrekenen naar K, dan tel je 273 bij het aantal  $^{\circ}\text{C}$  op.

Dus:  $53^{\circ}\text{C} = 53 + 273 = 326\text{ K}$ .

Omgekeerd van K naar  $^{\circ}\text{C}$  moet er 273 van het aantal  $^{\circ}\text{C}$  afgetrokken worden.

Dus:  $172\text{ K} = 172 - 273 = -101^{\circ}\text{C}$ .

### Eenheid van warmte

De eenheid van warmte is de joule.

Warmte heeft dezelfde eenheid als energie.

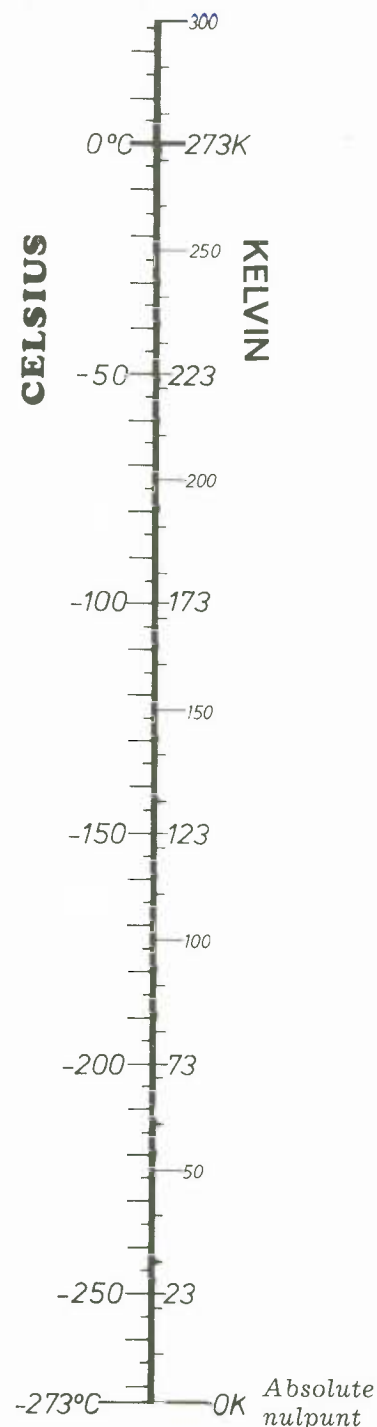
Dat joule de eenheid van warmte is, kun je begrijpen uit de wet van behoud van energie.

Voorbeeld:

100 J chemische energie wordt omgezet in 30 J bewegingsenergie.

Volgens de wet van behoud van energie moet er dan 70 J omgezet zijn in warmte!

In T 3 komen we terug op het verband tussen temperatuur en warmte.



# T 2 Warmtetransport

## A. Geleiding van warmte

Warmte kan alleen getransporteerd worden als er een verschil in temperatuur is in een bepaalde stof. Dit hebben we gezien bij alle proeven van P 2. Bij deze proeven verplaatste de warmte zich door de stof. De stof zelf bleef op zijn plaats. We spreken in dit geval van **warmtegeleiding**.

Je vraag je misschien af hoe dat in zijn werk gaat. Het enige wat er hierover te zeggen valt is, dat de molekulen van de vaste stof de warmte doorgeven aan elkaar.

Het tempo waarin een voorwerp afkoelt door geleiding hangt af van 2 factoren:

1. Naarmate het **temperatuursverschil** tussen het voorwerp en de omgeving groter is, koelt het voorwerp sneller af.  
Denk maar aan proef 4. De eerste minuut koelde het blikje sneller af dan de tiende minuut.
2. **Het isolatiemateriaal**. Een geïsoleerd blikje koelt langzamer af dan een niet geïsoleerd blikje.

We hebben in P 2 gezien dat er stoffen zijn die de warmte goed geleiden: **de geleiders**. Er zijn ook stoffen die de warmte slecht geleiden. Die stoffen noemen we **de isolatoren**.

Vaste stoffen geleiden de warmte meestal beter dan vloeistoffen. Vloeistoffen geleiden de warmte weer beter dan gassen.

## Isolatie

Warmte-isolatie is van groot belang. Bij een goed geïsoleerde woning vliegt de warmte niet naar buiten. Daardoor hoeft er minder gestookt te worden. Dat betekent weer besparing van dure en schaarse brandstof. Stilstaande lucht is een zeer goede warmte-isolator. Praktisch alle isolatiematerialen bevatten dan ook lucht. Denk maar aan wol, watten, glaswol, kunststofschuim, kurk.

Je kunt nu met deze kennis heel wat dingen verklaren. Bijvoorbeeld waarom bijna alle huizen spouwmuren hebben. Dat zijn dubbele muren, gescheiden door een luchtlaag. Ook het dak van huizen wordt tegenwoordig geïsoleerd. Men gebruikt daarvoor materialen als glaswol of kunststofschuim. Ramen kan men isoleren door middel van glas dat uit twee lagen bestaat met een luchtlaag ertussen (thermopane-glas). Ook kan men gewoon dubbele ramen aanbrengen.

Met de stijgende brandstofprijzen is huizenisolatie steeds belangrijker geworden.

Ook in de natuur wordt stilstaande lucht gebruikt als warmte-isolator. Denk maar aan de vacht van dieren, die zeer veel lucht bevat. De veren van pluimvee en vogels zijn eveneens goede warmte-isolatoren. Ook de haartjes op onze huid hebben de taak om de lucht vast te houden en ons tegen afkoeling te beschermen. Wij hebben meestal extra kleding nodig die des te warmer is naarmate ze meer lucht bevat. Denk maar aan een wollen trui.

## B. Stroming van warmte

In P 2 heb je kennis gemaakt met het verschijnsel van warmtestroming. Bij warmtestroming zijn het de warme dampen of vloeistoffen zelf die zich verplaatsen. Uit proef 5 van P 2 heb je gezien, dat warme lucht opstijgt (de spiraal gaat draaien). Ook warm water stijgt op. Daardoor verplaatst de warmte zich.

Deze verplaatsing van vloeistoffen of dampen hangt af van het temperatuursverschil in de vloeistof of het gas.

Hoe groter het temperatuurverschil in de vloeistof hoe sneller het warmtetransport door stroming.

De vraag die nog niet beantwoord is luidt:

Waarom stijgt warme lucht en waarom stijgt warm water op?

Om het antwoord op deze vraag te vinden moeten we terug naar blok 3 en 4 uit de tweede klas.

We weten nog wel dat een voorwerp in water stijgt als de **dichtheid** van het voorwerp **kleiner** is dan de dichtheid van water. Door verwarming van een kleine hoeveelheid water zal deze uitzetten. Het volume wordt groter, de massa blijft gelijk. De dichtheid van deze hoeveelheid water zal kleiner worden. Als de dichtheid van warm water kleiner is dan de dichtheid van koud water zal het warme water opstijgen. Dit zelfde effect treedt op als je lucht verwarmt.

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

voorbeeld:

een voorwerp van 10 gram en een volume van 5 cm<sup>3</sup>, heeft een dichtheid van

$$\frac{10 \text{ gram}}{5 \text{ cm}^3} = 2 \text{ gram/cm}^3.$$

Bij deze vorm van warmtetransport wordt de warmte dus meegenomen door de materie (damp of vloeistof). Dat in tegenstelling tot het verschijnsel van warmtegeleiding waarbij alleen de warmte zich verplaatst en de materie in rust was.

### C. Straling van warmte

Er bestaan vele soorten straling. Enkele zijn: röntgenstraling, ultraviolet, licht, infrarood, radar, radiogolven. We noemen ze elektro-magnetische golven of stralen.

Ze hebben alle verschillende eigenschappen. Van de elektro-magnetische straling is alleen licht zichtbaar.

De snelheid van elektromagnetische golven is voor elk soort dezelfde: 300.000 km/s.

Deze snelheid noemen we de lichtsnelheid.

Het belangrijkste voor warmtetransport is de infrarode straling (ook wel warmtestraling genoemd).

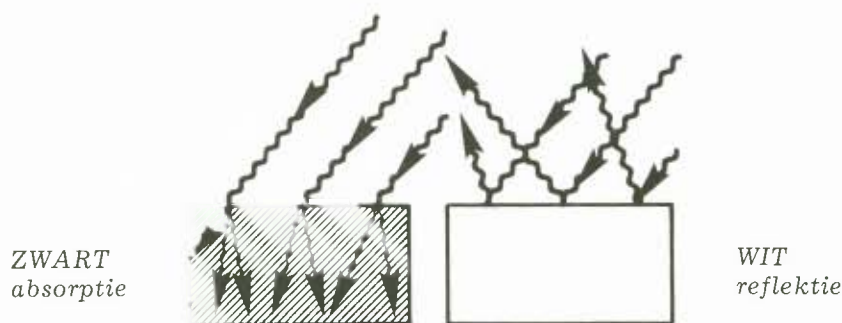
Het tempo waarmee straling wordt uitgezonden wordt groter naarmate:

1. De temperatuur van de warmtebron hoger wordt.
2. Het oppervlak donkerder is: een zwart oppervlak straalt beter dan een wit of glimmend oppervlak (zie proef 9 uit P 2).
3. Het oppervlak groter is. Het is niet noodzakelijk dat je de afmetingen van het voorwerp groter maakt, een ruw oppervlak straalt ook beter dan een glad.

### Absorptie en reflectie

Een voorwerp kan straling absorberen of reflecteren.

1. Bij absorptie neemt het voorwerp de straling op. Daardoor kan bijvoorbeeld zijn temperatuur stijgen. Het voorwerp kan de straling ook weer uitstralen.
2. Bij reflectie neemt het voorwerp de straling niet op. Het kaatst de straling terug.



**Absorptie** treedt vooral op bij **zwarte en doffe** voorwerpen. Witte en glimmende voorwerpen reflecteren de straling goed.

### De thermosfles

Je weet nu dat warmte op 3 manieren getransporteerd kan worden: geleiding, stroming en straling.

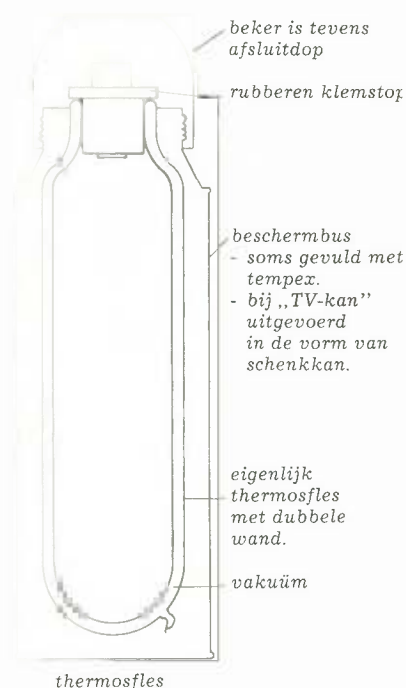
Om gebouwen, mensen of bijvoorbeeld vloeistoffen tegen afkoelen te beschermen is isolatie nodig.

Een voorbeeld van een geïsoleerd voorwerp is de thermosfles.

Een thermosfles is een fles waarin vloeistoffen op temperatuur gehouden worden (of warm of koud).

Hiernaast is zo'n fles schematisch weergegeven. Welke isolatiemaatregelen zijn er genomen?

1. Om geleiding tegen te gaan is de ruimte tussen buiten en binnen de fles luchtledig gemaakt.  
Lucht geleidt de warmte slecht. Als er geen lucht is, dan is er geen sprake van geleiding.
2. Warmtestroming is tegengegaan doordat er geen lucht zit tussen buiten- en binnenfles.
3. Om straling tegen te gaan is de binnenfles verzilverd. Je weet dat witte, glimmende voorwerpen de warmte slecht uitstralen of absorberen.



## T 3 Warmtecapaciteit en soortelijke warmte

In P 3 hebben we bepaald hoeveel warmte er nodig is om 1 g stof 1 K in temperatuur te doen stijgen.

Voor 1 g water was 4,2 J nodig.

Voor 1 g messing was 0,4 J nodig.

Voor 1 g aluminium was 0,9 J nodig.

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

Symbool voor soortelijke warmte:  $c$ .

Eenheid van soortelijke warmte:

$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$  (Joule per kilogram per Kelvin).

of

$\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$  (Joule per gram per Kelvin).

In plaats van J wordt ook wel eens kJ (kilojoule) gebruikt.

Dus:

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

de soortelijke warmte van messing ( $c_{\text{messing}}$ ):  $0,4 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

en de soortelijke warmte van aluminium ( $c_{\text{alum.}}$ ):  $0,9 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

Uit de gemeten waarden in P 3 blijkt dat de soortelijke warmte  $c$  voor elke stof anders is.

Voor de ene stof is meer warmte nodig voor temperatuurstijging dan voor een andere.

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 warmte.

De soortelijke warmte is een stoffeigenschap. Hiernaast zie je een tabel met een aantal stoffen en hun soortelijke warmte.

soort stof	soortelijke warmte in $\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$
glycerol	2,4
olijfolie	1,7
petroleum	2,1
tetra	0,8
water	4,2
glas	0,8
koper	0,4
ijzer	0,5
paraffine	2,9
ijs	2,2

Kunnen we uitrekenen hoeveel warmte er nodig is om bijvoorbeeld 1 liter water 80°C te verwarmen?

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

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

Om 1 liter = 1000 g water 80°C te verwarmen is

$$1000 \cdot 80 \cdot 4,2 \text{ J} = 336.000 = 336 \text{ kJ nodig.}$$

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;  $\Delta T$  het temperatuurverschil.

Nog een voorbeeld:

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

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

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

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

$$\text{Dus } Q = 0,4 \cdot 100 \cdot 20 \text{ J} = 800 \text{ J}$$

### Warmtecapaciteit

In veel gevallen kun je geen gebruik maken van „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 grootheid

### 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: k.

De eenheid van warmtecapaciteit:  $\frac{\text{J}}{\text{K}}$  (Joule per Kelvin)

Je kunt als de warmtecapaciteit bekend is, uitrekenen hoeveel warmte er nodig is om bijvoorbeeld een joulemeter 80 K in temperatuur te laten stijgen.

### Voorbeeld:

Stel de warmtecapaciteit van een joulemeter bedraagt  $300 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ . Dan

betekent dat, dat er 300 J nodig is om de joulemeter 1 K te verwarmen.

Om deze joulemeter 80 K te verwarmen is dus  $80 \times 300 \text{ J}$  nodig (24.000 J).

Je maakt gebruik van de regel:

warmte = warmtecapaciteit  $\times$  temperatuurverschil

In formule:

$$Q = k \cdot \Delta T$$

Tenslotte:

soortelijke warmte is een stoffeigenschap

warmtecapaciteit is een voorwerpseigenschap.

Zo heeft het **voorwerp** „ijzeren pan” een **warmtecapaciteit** van (bijv.)

$300 \frac{\text{J}}{\text{K}}$  en is gemaakt van de **stof** ijzer met een **soortelijke warmte** van

$$0,5 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$



## T 4 Rekenen met soortelijke warmte

In deze paragraaf gaan we sommen maken over warmte die wat ingewikkelder zijn dan de sommen uit T 3.

Voor de sommen heb je de formule  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$  nodig.

In de sommen maak je ook gebruik van de wet van behoud van energie.

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

Een blok gloeiend staal wordt in koud water afgekoeld.

Na enige tijd hebben het water en 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**

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 waarin het ging om temperatuurstijging.

In dit voorbeeld daalt de temperatuur.

Toch kun je deze som oplossen.

Voor temperatuurstijging is warmte nodig. Volgens de wet van behoud van energie verdwijnt die warmte niet. Dezelfde hoeveelheid warmte komt vrij bij temperatuurdaling.

Dus als we berekenen hoeveel warmte er nodig is om het koper 32 K te verwarmen, weten we ook hoeveel er vrij komt bij eenzelfde temperatuurdaling.

Berekening:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta T = 32 \text{ K} \\ m = 100 \text{ g} \\ c = 0,4 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \end{array} \right\} Q = 0,4 \cdot 100 \cdot 32 \text{ J} = 1280 \text{ J}$$

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 gegooit.

De eindtemperatuur van water en metaal is 33°C.

Wat is de soortelijke warmte van het metaal?

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

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

### Oplossing

Je kunt  $c_{\text{metaal}}$  vinden uit de formule:

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

Je weet al dat  $m_{\text{metaal}} = 150 \text{ g}$  en

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

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:

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

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

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

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

b. door de Joulemeter:

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

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

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

Er is totaal aan warmte opgenomen:

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

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

Met dit gegeven kun je de soortelijke warmte berekenen:

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

$$m_{\text{metaal}} = 150 \text{ g}$$

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

$$\text{Dus: } 14170 = c_{\text{metaal}} \cdot 150 \cdot 167 \Rightarrow c_{\text{metaal}} = \frac{14170}{150 \cdot 167} \frac{\text{J}}{\text{g.K}} = 0,57 \frac{\text{J}}{\text{g.K}}$$

# Blok 14 Werkblad

## W 1 Temperatuur en warmte

1

Waarom kun je niet met je zintuigen de temperatuur meten?

2

Leg de werking van de thermometer uit.

3

Waarom koos Kelvin een ander nulpunt voor zijn temperatuurschaal?

4

Hoeveel K is

- a.  $23^{\circ}\text{C}$
- b.  $12^{\circ}\text{C}$
- c.  $127^{\circ}\text{C}$
- d.  $-45^{\circ}\text{C}$

5

Hoeveel  $^{\circ}\text{C}$  is

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

6

Bij hoeveel K bevriest water?

7

Tussen  $0^{\circ}\text{C}$  en  $100^{\circ}\text{C}$  zitten precies  $100^{\circ}\text{C}$ .

- a. Reken  $0^{\circ}\text{C}$  en  $100^{\circ}\text{C}$  om in K en bereken hoeveel K er tussen zit.
- b. Wat valt je op?
- c. Maakt het uit of je een temperatuurverschil in K of  $^{\circ}\text{C}$  uitrekent?

8

Vul in:

- a. Om een voorwerp in temperatuur te doen stijgen is ..... nodig.
- b. Bij het afkoelen van een voorwerp, komt ..... vrij.

9

Je hebt een klein glas en een groot glas tot de rand gevuld met water van  $100^{\circ}\text{C}$ . Welk glas bevat de meeste warmte?

10

Je hebt een kleine metalen kogel en een grote metalen kogel.

Aan beide kogels voer je 100 J warmte toe. Welke kogel krijgt de hoogste temperatuur?

## W 2 Warmtetransport

1

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

- a. Verschilt hun temperatuur?
- b. Welk materiaal voelt het heetst aan?
- c. Verklaar dat.

2

Als het koud is voelt het stuur van je fiets veel kouder aan dan de handvaten. Hoe komt dat?



3

Hoe kan een iglo inoeks beschermen tegen de kou?

4

Waarom hebben alleen warmbloedige dieren een vacht of veren?

5

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

6

Om een glas water te verwarmen, maakt men in de natuurkundelessen soms gebruik van een brander met daarboven een kopergaasje dat op een driepoot ligt.

Wat is de functie van het kopergaasje?

7

Vroeger zette men de ketel van de centrale verwarming in de kelder. Tegenwoordig wordt hij meestal op zolder gezet.

- Waarom heeft men tegenwoordig een pomp nodig bij de c.v. en vroeger niet?
- Waarom zit bij de tekening van de c.v. hiernaast aansluiting 1 boven en aansluiting 2 onder aan de radiator?

8

In een verwarmde kamer is het bij het plafond altijd warmer dan bij de grond.

Hoe komt dit?

9

Tegenwoordig gebruikt men bij het verwarmen van woningen soms konvektorputten (zie tekening). Hoe werkt deze verwarmingsmethode? (Geef met pijlen de luchtstroom aan.)

10

Hoe maken zweefvliegtuigen gebruik van warmtestromen (thermiek)?

11

In de tropen draagt men bij voorkeur witte kleding.

Leg uit waarom.

12

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

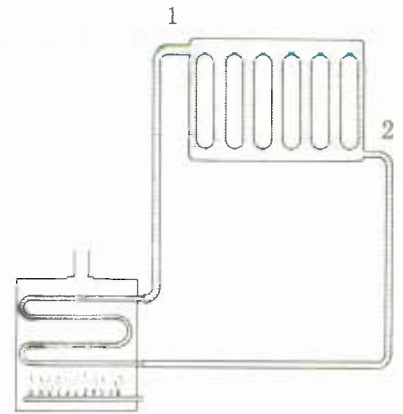
13

De zon levert de aarde veel warmte via haar zonnestralen.

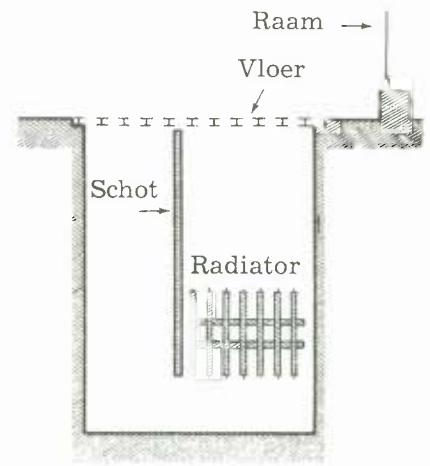
Leg uit waarom warmtetransport via geleiding of stroming hierbij geen rol kan spelen.

14

Geef aan hoe jij thuis het huis zou isoleren.



*Schematische tekening van een c.v. installatie*



## W 3 Warmtecapaciteit en soortelijke warmte

1

Wat is er fout aan de volgende uitspraak?

Om water te verwarmen is meer warmte nodig dan er voor messing nodig is.

2

Wat is het verschil tussen warmtecapaciteit en soortelijk warmte?

3

Hoeveel warmte is er nodig om 20 g paraffine 10 K te verwarmen?

4

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

- Wat is de soortelijke warmte van de stof?
- Welke stof wordt verwarmd? (Zoek in de tabel bij T3).

5

Aan 20 g koper wordt 300 J warmte toegevoegd.  
Hoeveel °C stijgt het koper in temperatuur?

## W 4 Rekenen met soortelijke warmte

1

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

$$c_{\text{paraffine}} = 2,9 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

2

In een joulemeter giet men 100 g vloeistof.  
De temperatuur van de joulemeter stijgt daardoor 60 K.

- Bereken hoeveel warmte de joulemeter opneemt.

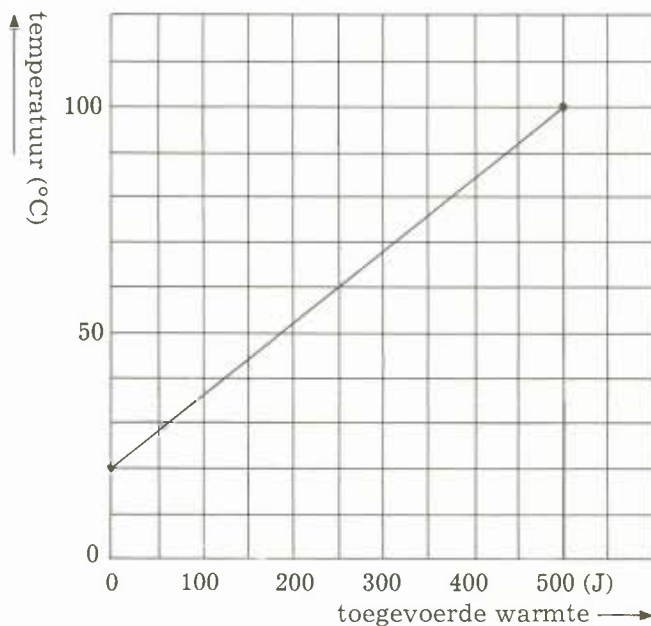
$$k = 200 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

De vloeistof is 20 K in temperatuur gedaald.

- Bereken  $c_{\text{vloeistof}}$ .

3

In het diagram hieronder is het verband gegeven tussen de toegevoerde warmte en de temperatuur van 1 g van een stof.  
Bereken uit de grafiek de soortelijke warmte van de stof.





4

Met het volgende experiment bepaalt een onderzoekster de soortelijke warmte van een metaal.

Zij vult een joulemeter met 200 g water van 10°C.

Zij dompelt het metaal in kokend water ( $T = 100^\circ\text{C}$ ).

Vervolgens brengt ze het metaal in de joulemeter met water.

De eindtemperatuur van het geheel leest ze af op een thermometer.

Tenslotte weegt ze het metaal en noteert gegevens.

$$k_{\text{joulemeter}} = 200 \frac{\text{J}}{\text{K}}; c_{\text{water}} = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}.$$

$$T_{\text{eind}} = 6^\circ\text{C}; m_{\text{metaal}} = 180 \text{ g}.$$

a. Bereken de soortelijke warmte van het metaal.

In het verslag van de proef noteert de onderzoekster dat de meting niet erg nauwkeurig is.

b. Waarom is de meting onnauwkeurig?

5

In glas I zit 2 dm<sup>3</sup> water van 60°C.

In glas II zit 1 dm<sup>3</sup> water van 0°C.

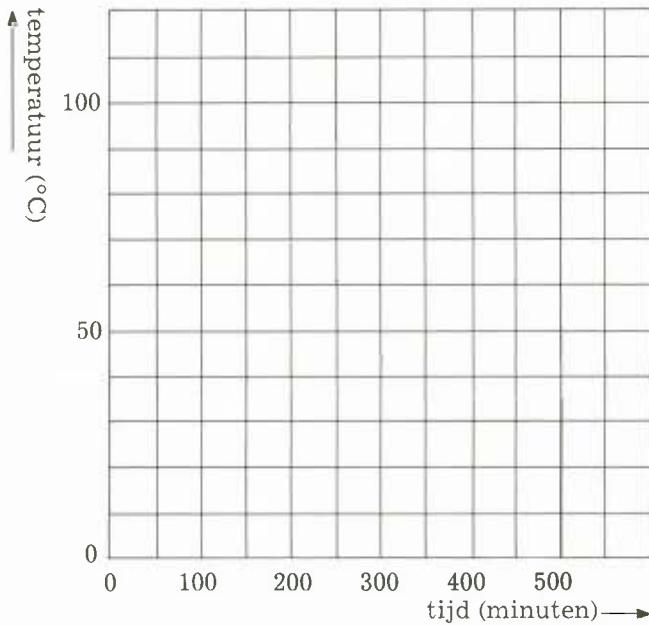
De inhoud van glas I wordt bij de inhoud van II gevoegd.

a. Schat de eindtemperatuur van de nieuwe inhoud van II.

Motiveer je schatting.

Het glas staat enige tijd in een kamer van 18°C.

b. Schets in het diagram het verloop van de temperatuur en de tijd.



## Blok 14 Herhaalblad

# H 1 Factoren die de grootte van warmtetransport bepalen

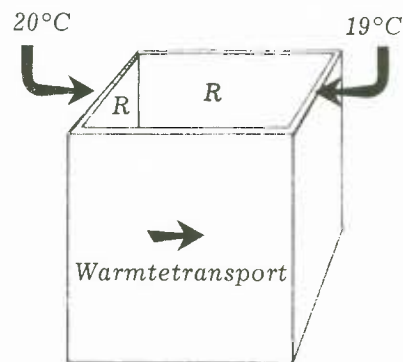
### A. Warmtegeleiding

Bij warmtegeleiding verplaatst de warmte zich door een stilstaande stof. Warmtetransport door geleiding wordt dus vooral bepaald door de **soort stof** waardoor de warmte stroomt.

Als de warmte zeer moeilijk door een stof stroomt noemen we die stof een warmte-isolator. Als het gemakkelijk gaat spreken we van warmtegeleider. Om aan te geven, hoe goed of slecht een bepaalde stof de warmte geleidt, maken we gebruik van getallen.

We zullen dit duidelijk maken aan de hand van het volgende voorbeeld. Hiernaast zie je een kubusvormige bak met een inhoud van  $1 \text{ m}^3$ . Deze kan gevuld worden met verschillende stoffen. Links wordt de temperatuur voortdurend  $1^\circ\text{C}$  hoger gehouden dan rechts. Er stroomt dan warmte van links naar rechts.

Als de bak gevuld wordt met water stroomt er per seconde  $0,60 \text{ J}$  warmte van links naar rechts. Als de bak met zand gevuld is, is dit  $1 \text{ J}$ . Voor de andere stoffen is dit aantal joule in de tabel vermeld.



1  
Orden deze tabel zo dat de beste warmtegeleiders bovenaan staan en de beste isolatoren onderaan.

2  
Welk materiaal van deze tabel is de beste geleider?

3  
Welk materiaal is de beste isolator?

4  
Verklaar waarom poreuze materialen zoals glaswol, tempex, houtkrullen zulke goede isolatoren zijn.

Materiaal	Joule per seconde
Koper	390
Zink	110
IJzer	75
Zilver	420
Beton	1,7
Baksteen	0,6
Glas	0,93
Hout	0,3-0,5
Papier	0,18
Stilstaande lucht	0,024
Zand	1
Alkohol	0,17
Kwik	10,4
Water	0,6

Een andere faktor die de grootte van de warmtegeleiding bepaalt, is natuurlijk het **temperatuurverschil**.

Als de temperatuur in ons huis  $20^\circ\text{C}$  is en buiten  $10^\circ\text{C}$ , stroomt er meer warmte naar buiten, dan wanneer het binnen  $20^\circ\text{C}$  is en buiten  $15^\circ\text{C}$ . Dus hoe groter het temperatuurverschil, des te groter de warmtegeleiding.

Het is natuurlijk ook zo dat de warmtegeleiding groter is naarmate het materiaal waardoor de warmte stroomt **dunner** is. Een dunne muur laat méér warmte door dan een dikke!

5  
Welke drie factoren die de grootte van warmtegeleiding bepalen zijn nu besproken?

- a. ....
- b. ....
- c. ....

Materiaal	Joule per seconde

## B. Warmtestroming

Bij warmtetransport door stroming verplaatst de warmte zich met de stof, in tegenstelling tot geleiding waarbij de stof stilstaat. Warmtestroming vindt alleen plaats in gassen en in vloeistoffen. Vaak hebben we hier te maken met het opstijgen van warme gassen of vloeistoffen. Hierbij wordt de warmte evenals bij geleiding van warme naar koude plaatsen gevoerd.

6

Verklaar het opstijgen van een heteluchtballon.

---

---

---

---

7

Wat is thermiek?

---

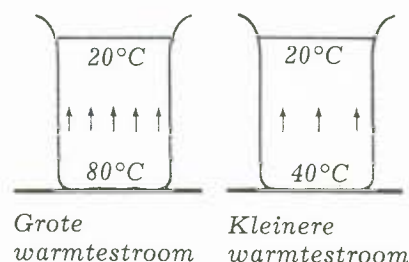
---

---

---

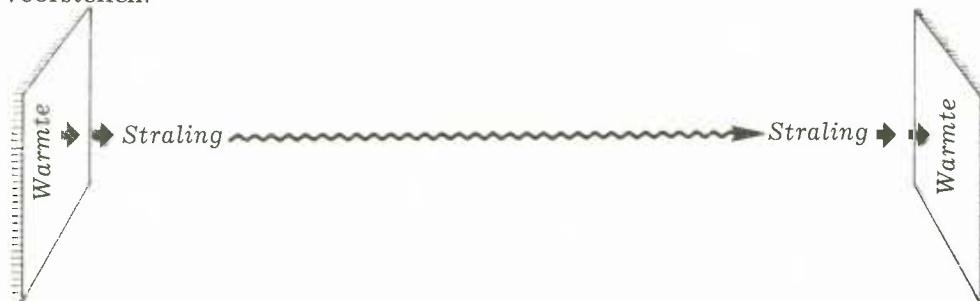
Waarvoor gebruikt men die?

Warmtestroming is sneller naarmate het **temperatuurverschil** tussen de warme en koude plaatsen groter is. In een glas water waarin grote temperatuurverschillen voorkomen, zal de stroming ook groot zijn. Zie de hiernaast staande tekeningen.



## C. Warmtestraling

Warmtetransport door straling kan men schematisch als volgt voorstellen:



Bij het warme oppervlak wordt warmte omgezet in stralingsenergie. Deze straling kan zich verplaatsen en valt op het koude oppervlak waar de stralingsenergie weer wordt omgezet in warmte (absorptie). Straling zelf is dus geen warmte!

Voor warmtetransport door straling is geen tussenstof nodig.

Bijvoorbeeld de straling van de zon bereikt via het luchtledige de aarde. We zullen nu het uitzenden en het absorberen afzonderlijk bekijken.

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

Donkergekleurde voorwerpen blijken meer straling uit te zenden dan lichtgekleurde voorwerpen. De hoeveelheid uitgezonden straling is dus afhankelijk van de kleur van het oppervlak.

Verder is het zo, dat hoe groter het oppervlak van een voorwerp, hoe meer straling het uit kan zenden.

Bij het absorberen heb je met dezelfde factoren te maken als bij het uitzenden.

Dus vul in:

8

Voorwerpen absorberen méér straling naarmate de **kleur** is.

9

Voorwerpen absorberen méér straling naarmate het **oppervlak** van het voorwerp ..... is.

10

Als je je hand voor een hete radiator houdt, wordt hij warm.

Dit warmtetransport geschiedt voornamelijk door .....  
Waarom zijn de twee andere soorten warmtetransport hier te verwaarlozen?

a. .... is te verwaarlozen omdat .....

b. .... is te verwaarlozen omdat .....

11

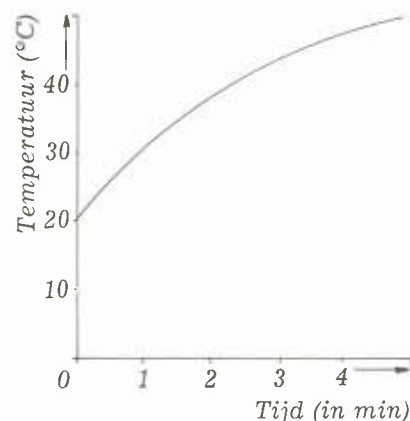
Hoe heeft men bij radiatoren voor een groot oppervlak gezorgd?

12

Men houdt een thermometer dicht bij een radiator. Om de minuut leest men de temperatuur af.

Men zet de temperatuur daarna uit in een grafiek tegen de tijd.  
Waaraan zie je dat de temperatuur steeds langzamer stijgt?

Verklaar dat.



13

Waarom draagt men in de tropen bij voorkeur witte kleding?

## H 2 Soortelijke warmte en warmte-kapaciteit

### Wat is warmte-kapaciteit?

Om beter te begrijpen wat de warmte-kapaciteit van een voorwerp is, maken we een vergelijking.

Stel je hebt twee bekers.

Beker 1 is smal. Beker 2 is hoog.

Giet je nu in beide bekers evenveel water, dan stijgt het water in beker 1 veel hoger dan in beker 2.

We kunnen nu het waterpeil vergelijken met de temperatuur van een voorwerp. De warmtekapaciteit vergelijken we met de breedte van het glas. Stel je hebt twee voorwerpen. De ene heeft een grote warmtekapaciteit, de ander heeft een kleine warmtekapaciteit.

Je laat nu in beide voorwerpen evenveel warmte stromen.

Het voorwerp met de kleine warmtekapaciteit (te vergelijken met het smalle glas) zal een hogere eindtemperatuur krijgen dan het voorwerp met de grote warmtekapaciteit (te vergelijken met het brede glas).

De warmtekapaciteit van een voorwerp is de warmte die nodig is om het hele voorwerp  $1^{\circ}\text{C}$  (of  $1\text{ K}$ ) in temperatuur te doen stijgen.

### Soortelijke warmte

Bij warmtecapaciteit gaat het om voorwerpen.

Bij soortelijke warmte gaat het om stoffen.

De ene stof heeft veel warmte nodig voor een temperatuurstijging van 1 K. De andere stof weinig.

Om eerlijk te vergelijken kijken we hoeveel warmte er nodig is om 1 g van een stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.

Dus: de soortelijke warmte van een stof is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van die stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.

### Eenheden en symbolen

Symbool voor warmtecapaciteit:  $k$

Eenheid van warmtecapaciteit:  $\frac{\text{J}}{\text{K}}$  of  $\frac{\text{kJ}}{\text{K}}$ .

Symbool voor soortelijke warmte:  $c$

Eenheid van soortelijke warmte:  $\frac{\text{J}}{\text{g.K}}$  of  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

### Vraag 1

De warmtecapaciteit van een joulemeter is  $200 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ .

- Hoeveel warmte is er nodig om de joulemeter 1 K te verwarmen?
- Hoeveel warmte is er nodig om de joulemeter 10 K te verwarmen?

### Vraag 2

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

- Hoeveel warmte is er nodig om 1 g koper 1 K te verwarmen?
- Hoeveel warmte is er nodig om 100 g koper 10 K te verwarmen?

### Sommen met soortelijke warmte en warmtecapaciteit

Bij de volgende sommen moet je gebruik maken van formules en regels.  
Voordat je gaat oefenen volgen eerst de nodige formules en regels.

#### 1

Opgenomen warmte = afgestane warmte.

Voorbeeld: een glas koud water en een stukje verhit metaal worden samengevoegd. Het metaal koelt af, terwijl het water in temperatuur stijgt. Met de warmte die bij het afkoelen van het metaal vrijkomt, wordt het water verwarmd.

Volgens de wet van behoud van energie kan er geen warmte verdwijnen.

Dus: de warmte die het metaal afgeeft, wordt door het water opgenomen.

#### 2

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

Hierin is:

$Q$  de opgenomen of afgestane warmte

$c$  de soortelijke warmte

$m$  de massa

$\Delta T$  het temperatuurverschil.

Voorbeeld:

100 g koper wordt van  $20^\circ\text{C}$  verwarmd tot  $600^\circ\text{C}$ .

Hoeveel warmte is daarvoor nodig?

$$\left. \begin{array}{l} c_{\text{koper}} = 0,4 \frac{\text{J}}{\text{g.K}} \\ m = 100 \text{ g} \\ \Delta T = 600^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 580^\circ\text{C} (= 580 \text{ K}) \end{array} \right\} Q = 0,4 \cdot 100 \cdot 580 \text{ J} = 23200 \text{ J}$$



3

(Voor het verwarmen van voorwerpen).

$$Q = k \cdot \Delta T$$

Q is de opgenomen of afgestane warmte

k is de warmtecapaciteit

$\Delta T$  is de temperatuurstijging of -daling.

Voorbeeld:

Een metalen pan heeft een warmtecapaciteit van  $300 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ .

Hoeveel warmte komt er vrij als de pan afkoelt van  $100^\circ\text{C}$  tot  $20^\circ\text{C}$ ?

$$k = 300 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C} (= 80 \text{ K})$$

$$Q = 300 \cdot 80 \text{ J} = 24.000 \text{ J}.$$

**Opgaven:**

3

De soortelijke warmte van stof is  $10 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

Hoeveel graden stijgt 50 gram van de stof in temperatuur wanneer je 6.000 J warmte toevoert?

4

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

De soortelijke warmte van olie is  $1,7 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

Hoeveel warmte is nodig om de joulemeter gevuld met 100 gram olie 10 K te verwarmen?

Voor de joulemeter is nodig:

Voor de olie is nodig:

In totaal is er ..... + ..... = ..... warmte nodig.

5

Een joulemeter heeft een warmtecapaciteit van  $200 \frac{\text{J}}{\text{K}}$ .

In de meter brengt men 300 g water.

De temperatuur van de meter met het water bedraagt: 293 K. In het water wordt 200 g van een onbekende stof gedompeld met een temperatuur van 393 K.

De eindtemperatuur van het geheel wordt 313 K.

a. Hoeveel warmte is er door de joulemeter opgenomen?

b. Hoeveel warmte is er door het water opgenomen?

Er is in totaal: ..... + ..... = ..... J opgenomen.

c. Hoeveel warmte is er door het metaal afgestaan?

d. Bereken de soortelijke warmte van het metaal.

## H 1 Factoren die de grootte van warmtetransport bepalen

1

Materiaal	Joule per seconde
Zilver	420
Koper	390
Zink	110
IJzer	75
Kwik	10,4
Beton	1,7
Zand	1
Glas	0,93
Baksteen	0,6
Water	0,6
Hout	0,3-0,5
Papier	1,18
Alkohol	0,17
Stilstaande lucht	0,024

2

Zilver.

3

Stilstaande lucht.

4

Poreuze materialen bevatten stilstaande lucht.

5

a. soort stof. b. temperatuurverschil. c. dikte.

6

Warme lucht in de heteluchtballon stijgt op omdat warme lucht een kleinere dichtheid heeft dan koude lucht.

7

Opstijgende warme lucht.

Voor zweefvliegtuigen.

8

Donker ..... dof.

9

Groter.

10

Straling

- a. geleiding is hier te verwaarlozen omdat lucht een zeer slechte geleider is.
- b. stroming is hier te verwaarlozen omdat de lucht stijgt en niet van de radiator naar je hand.

11

door ze sterk geribbeld te maken.

12

- de grafiek gaat steeds meer horizontaal lopen.
- de temperatuur van de thermometer stijgt, waardoor hij steeds minder warmte absorbeert (of: waardoor hij zelf steeds meer warmte uitstraalt).

13

Witte kleding absorbeert minder straling dan zwarte.

## H 2 Soortelijke warmte en warmtecapaciteit

1

- a. 200 J  
b.  $200 \cdot 10 \text{ J} = 2000 \text{ J}$

2

- a. 0,4 J  
b.  $0,4 \cdot 100 \cdot 10 \text{ J} = 400 \text{ J}$

3

$$\left. \begin{array}{l} c = 10 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \\ m = 50 \text{ g} \\ Q = 6000 \text{ J} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 6000 = 10 \cdot 50 \cdot \Delta T \rightarrow \\ 6000 = 500 \cdot \Delta T \rightarrow \\ \Delta T = \frac{6000}{500} \text{ K} = 12 \text{ K} \end{array}$$

4

Voor de joulemeter is nodig:

$$\left. \begin{array}{l} k = 300 \frac{\text{J}}{\text{K}} \\ \Delta T = 10 \text{ K} \end{array} \right\} Q = 300 \cdot 10 \text{ J} = 3000 \text{ J}$$

Voor de olie is nodig:

$$\left. \begin{array}{l} c = 1,7 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \\ m = 100 \text{ g} \\ \Delta T = 10 \text{ K} \end{array} \right\} Q = 1,7 \cdot 100 \cdot 10 \text{ J} = 1700 \text{ J}$$

In totaal is er: 4700 J nodig.

5

$$\left. \begin{array}{l} \text{a. } k = 200 \frac{\text{J}}{\text{K}} \\ \Delta T = 313 \text{ K} - 293 \text{ K} = 20 \text{ K} \end{array} \right\} Q = 200 \cdot 20 \text{ J} = 4000 \text{ J}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{b. } c = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \\ m = 300 \text{ g} \\ \Delta T = 20 \text{ K} \end{array} \right\} Q = 4,2 \cdot 300 \cdot 20 \text{ J} = 25200 \text{ J}$$

In totaal is er 29200 J opgenomen.

c. 29200 J (opgenomen warmte = afgestane warmte)

$$\left. \begin{array}{l} \text{d. } Q = 29200 \text{ J} \\ \Delta T = 393 - 313 \text{ K} = 80 \text{ K} \\ m = 200 \text{ g} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 29200 = c \cdot 200 \cdot 80 \\ 29200 = 16000 \cdot c \\ c = \frac{29200 \text{ J}}{16000 \text{ g} \cdot \text{K}} = 1,8 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \end{array}$$

## 82. De koelkast

In de basisstof heb je gelezen dat warmte uit zichzelf van een plaats met een hoge temperatuur naar een plaats met lagere temperatuur stroomt. Het is echter best wel mogelijk om warmte van een koude plek naar een warmere te transporteren. Bij een koelkast of diepvrieskast wordt warmte van binnen (koud) naar buiten (warmer) getransporteerd. Vanzelf gaat dit afkoelen echter niet, het kost ons (elektrische) energie.

### Afkoelen door verdampen

Als je je vinger nat maakt en in de wind houdt, voel je hem kouder worden. De huid wordt afgekoeld, omdat het vocht verdampt. Blijkbaar is er voor het verdampen warmte nodig, die in dit geval door je vinger geleverd wordt. Met een stof als ether of aceton kun je een sterkere afkoeling waarnemen.

Hieronder staan twee proeven beschreven, vraag je leraar welke je doen kunt.

### Proef 1

Neem een horlogeglasje met wat ether of aceton.

Maak de bodem aan de onderkant vochtig, zodat er wat waterdruppels aan hangen. Ga bij een open raam staan (of bij een zuurkast) en blaas met een fietspomp lucht over de ether of aceton. Pas op dat je niet te veel damp binnen krijgt! Wat neem je waar?

### Proef 2

Neem een erlenmeijer met ether of aceton, die is afgesloten met een stop waar een buisje doorheen gestoken is, dat je met de waterstraalpomp verbindt. In de erlenmeijer zet je een reageerbuisje met wat water en een thermometer. Zet de pomp aan.

Wat neem je waar?

### Koelkast

Als je proef 2 gedaan hebt, heb je kunnen waarnemen dat als de druk verlaagd wordt, de vloeistof heftig verdampt en daardoor de temperatuur afneemt. Hiervan wordt in een koelkast gebruik gemaakt. Als koelvloeistof zoekt men een stof met een laag kookpunt, bijvoorbeeld freon. Dit koelmiddel cirkuleert door een buizenstelsel. De kompressor is een pomp die damp aanzuigt en samenperst. Het koelmiddel in de verdamper zal snel verdampen als de kompressor de druk verlaagt door de damp weg te zuigen. De temperatuur van de verdamper zal dan sterk dalen om dat voor het verdampen warmte nodig is die uit de omgeving wordt gehaald (de koelkast).

De kompressor perst de aangezogen damp samen in de kondensor. De dampdruk wordt hier erg groot. Het gevolg is dat de damp weer zal kondenseren.

Hierbij staat de stof warmte af, zodat de kondensor heet wordt. De warmte van de kondensor wordt buiten de kast afgevoerd. Het koelmiddel bereikt weer de kamertemperatuur en bereikt na een ventiel weer de verdamper.

### Vragen:

Wat is de functie van het ventiel?

Bekijk de koelkast of diepvrieskast thuis en zoek de verdamper en de kondensor op. Waarom zit de verdamper meestal boven in de koelkast? Houd je hand tegen de kompressor als hij uit is en als hij werkt. Wat merk je op?

Wat is de functie van de kondensor?

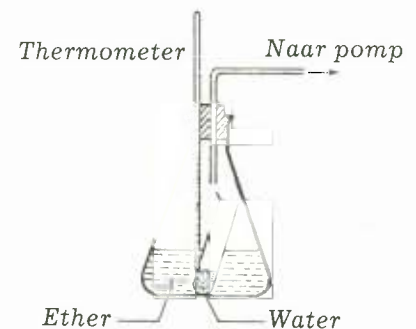
Waarom zijn de buisjes van de kondensor lang en dun?

Waarom zijn ze zwart?

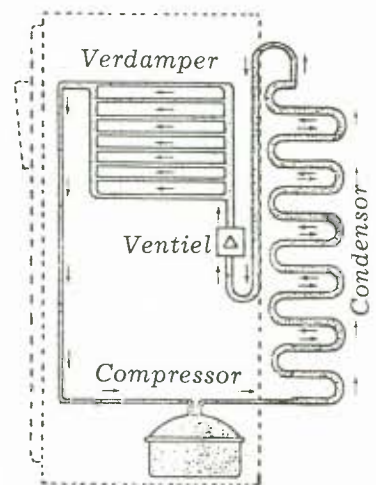
Waarom is een koelkast meestal wit?

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

Sommige koelkasten moeten geregeld ontdooid worden. Waarom?



Koelkast



In de handleiding van koelkasten staat dat de kast na versjouten 24 uur moet blijven staan voordat hij aangezet mag worden. Zou je daar een reden voor kunnen geven?

Leg uit waarom een koelkast die in een koude ruimte staat minder elektrische energie verbruikt dan één die in een warme ruimte staat.

In een volledig geïsoleerde kamer (er kan dus geen warmte naar binnen of buiten) zet men een koelkast met geopende deur aan. Wat gebeurt er met de temperatuur van de ruimte?

## 128 Thermo-element en bimetaalthermometer

Er zijn gevallen, waarbij je voor het meten van de temperatuur de kwikthermometer niet kan gebruiken. Als het voorwerp waarvan je de temperatuur wilt meten heel klein is, gebruik je in plaats van de al bekende thermometers een thermo-element. In dit blad leer je hoe je zo'n thermo-element zelf kunt maken.

Neem een 30 cm lang stuk konstantaan-draad (0,2 mm). Smelt met een lasbrander aan beide zijden van de konstantaandraad een stuk koperdraad vast van ongeveer 20 cm. Als je geen lasbrander hebt, kun je de draden ook stevig in elkaar draaien. Je moet dan wel de uiteinden zo kort mogelijk afknippen. Verbind nu de losse uiteinden met een gevoelige stroommeter. Hang één van de contactplaatsen in een bekersglas met water. Het andere contactpunt moet buiten het glas hangen, vrij in de lucht. Verwarm nu het water in het bekersglas. Lees de stroommeter tijdens het verwarmen regelmatig af.

Een thermo-element bestaat uit twee soorten metaal. Eén van die elementen is koper. In het koperdraad is een ampèremeter opgenomen. Omdat de verbindingsdraden in de meter ook van koper zijn, zijn er in de stroomkring twee plaatsen, waar het ene metaal in de andere overgaat. Als de twee contactplaatsen een verschillende temperatuur hebben, gaat er in de stroomkring een stroom lopen. De stroomsterkte kun je op de meter aflezen. De stroom wordt groter als het temperatuursverschil groter wordt. Dus kun je het thermo-element als thermometer gebruiken.

Op welke manier kun je je thermo-element ijken?

Het voordeel van een thermo-element is, dat je de temperatuur die je wilt meten er niet mee beïnvloed. Waarom niet?

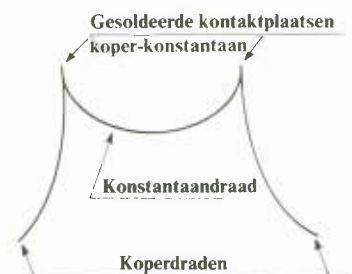
Een ander soort thermometer is een bimetaalthermometer. Je vindt deze in thermostaten van centrale verwarmingen. Deze thermometer berust op uitzetting van metalen. Een bimetaal bestaat uit twee strippen metaal met een verschillende uitzettingscoëfficiënt. Het ene metaal zet meer uit bij verwarming dan 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 dus een thermometer maken. Om de meter gevoeliger te maken, rolt men een lange strip bimetaal op. Zie tekening.

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

Eerst de uiteinden van de koperdraad en de konstantaandraad stevig in elkaar draaien . . . .

dan de contactplaatsen goed vast solderen . . . .

daarna de verbindingspunten zo kort mogelijk afknippen.



strookje bimetaal

