

W A R M T E L E E R

THEMA

WARMTE

11



Waarover gaat dit thema

Om de **temperatuur** van een voorwerp te doen stijgen, wordt **warmte toegevoegd** aan dat voorwerp, om het af te koelen wordt warmte afgevoerd. We definiëren de **inwendige energie** van een stof. Met het **deeltjesmodel** verklaren we het verband tussen de toegevoegde warmte en de verandering van de inwendige energie. Verder meten we de **temperatuurverandering** van een voorwerp.

Inhoud

1	Warmte en temperatuur	183
2	Warmtehoeveelheid en temperatuurverandering	184
2.1	Warmtehoeveelheid Q bepalen	184
2.2	Thermisch geïsoleerd systeem en thermisch evenwicht	184
2.3	Temperatuurverandering bepalen	185
2.4	Verband tussen Q en $\Delta \theta$	186
3	Voorbeeldopdracht	187
	Opgaven	188
	Samenvatting	192

Openingsvraag

In een klaslokaal bevinden zich houten stoelen met metalen poten.

- 1 Vergelijk de temperatuur van de houten leuning, de metalen poten en de omgevende lucht.
- 2 Welke onderdelen voelen het koudst aan?



De oplossing vind je op p. 188.

1

Warmte en temperatuur

- In een zwembad is de temperatuur van het water 24 °C. Dat voelt fris aan.
- Een temperatuur van 24 °C in de woonkamer voelt erg warm aan.
- Met een kopje hete drank neemt je lichaam vocht en ook warmte op.



Fig. 11.1 Temperatuur en warmte zijn verschillende grootheden.

Temperatuur en warmte zijn verschillende grootheden. Vanuit het deeltjesmodel weten we dat de gemiddelde snelheid van de deeltjes groter is als de **temperatuur** van het voorwerp hoger is.

Temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de deeltjes van een voorwerp.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
temperatuur	θ	graad Celsius	°C
	T	kelvin	K

Warmte of **warmte-energie** wordt afgestaan door een voorwerp op hoge temperatuur aan een voorwerp op lagere temperatuur. Warmte is het transport van energie als gevolg van een **temperatuurverschil**.

De **warmtehoeveelheid** is een maat voor de hoeveelheid energie die zich verplaatst, uitgedrukt in joule.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
warmtehoeveelheid	Q	joule	J

2

Warmtehoeveelheid en temperatuurverandering

2.1 Warmtehoeveelheid Q bepalen

- Als het water in je bad te heet is, voeg je er koud water aan toe. Is het water te koud, dan voeg je warm water toe.
- Een kannetje koude melk kan je snel opwarmen door er hete stoom door te jagen.
- In een ijsmachine wordt warmte onttrokken aan het ijsroommengsel.

Als de temperatuur van een stof gestegen is, is er energie opgenomen. Bij een temperatuu­rdaling heeft de stof energie afgegeven. Deze hoeveelheid energie of **warmtehoeveelheid** kunnen we niet **rechtstreeks** meten.

We onderzoeken het **verband** tussen de **temperatuurverandering** $\Delta\theta$ en de **warmtehoeveelheid** Q . Warmtehoeveelheid kan je niet meten, **temperatuurverandering** kan je **wel meten**.



Fig. 11.2 We zoeken een verband tussen de hoeveelheid warmte en de temperatuurverandering.

2.2 Thermisch geïsoleerd systeem en thermisch evenwicht

- Bij het opwarmen van melk in een kannetje zal ook het kannetje energie opnemen en stijgen in temperatuur.
- Een thermosfles wordt gebruikt om opgewarmde koffie zo lang mogelijk op temperatuur te houden. De bedoeling is dat er zo weinig mogelijk energie afgegeven wordt aan de omgeving.

Voor je een onderzoek start, kies je steeds welk **systeem** je wilt bekijken. Alles wat buiten het systeem ligt, noemen we de **omgeving**.

Een systeem dat warmte-energie kan uitwisselen met zijn omgeving, is **niet thermisch geïsoleerd**.

Een systeem dat geen warmte-energie kan uitwisselen met zijn omgeving, is afgezonderd of **thermisch geïsoleerd** van zijn omgeving.

- Het kannetje met melk is een voorbeeld van een niet thermisch geïsoleerd systeem.
- Een thermosfles beperkt de warmte-uitwisseling met zijn omgeving. Dit is een thermisch geïsoleerd systeem.



Fig. 11.3 Een thermosfles is een voorbeeld van een thermisch geïsoleerd systeem.

Een **thermisch geïsoleerd systeem** wisselt geen warmte uit met zijn omgeving.

In de wetenschap spreken we niet over een thermosfles, maar over een **calorimeter** of **joulevat**. Een calorimeter of joulevat bevat vaak ook een verwarmingssysteem om aan de inhoud van het vat energie toe te voeren. Met een energiemeter kunnen we de **toegevoerde energie meten**.

Een **joulevat** is een thermisch geïsoleerd systeem om **warmtemetingen** uit te voeren.

Als je een hoeveelheid warm water bij een hoeveelheid koud water voegt, is de temperatuur in het mengsel niet overal gelijk.

Na verloop van tijd heeft de stof op hogere temperatuur energie afgegeven aan de stof op lagere temperatuur. De gemiddelde snelheid van de deeltjes is dan overal gelijk. De temperatuur in het systeem is overal gelijk. We zeggen dat het **systeem in thermisch evenwicht** is.

Een systeem is in **thermisch evenwicht** als de temperatuur in dit systeem overal gelijk is.

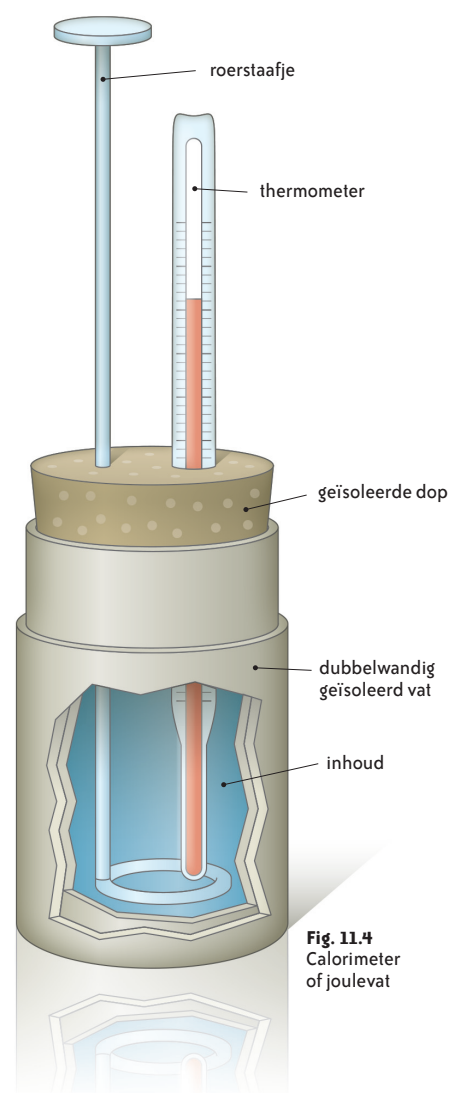


Fig. 11.4
Calorimeter
of joulevat

2.3 Temperatuurverandering bepalen

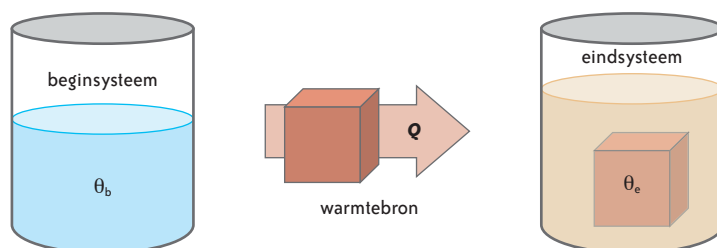


Fig. 11.5 Systemen in de begintoestand en in de eindtoestand; θ meten bij thermisch evenwicht

- Het beginsysteem in bovenstaand voorbeeld bestaat uit een joulevat en water. De temperatuur van dit systeem noemen we de begintemperatuur θ_b .
- We voegen een warmtebron toe, bijvoorbeeld een blokje staal op hogere temperatuur, die de temperatuur van het beginsysteem doet stijgen.
- Er ontstaat een thermisch evenwicht wanneer de temperatuur van het toegevoegde blokje, het joulevat en het water gelijk zijn. In het eindsysteem hebben we nu de eindtemperatuur θ_e .

De **temperatuurverandering** $\Delta\theta$ is het verschil tussen de eindtemperatuur en de begintemperatuur: $\Delta\theta = \theta_e - \theta_b$.

We zorgen er steeds voor dat $\Delta\theta$ positief is. Bij een temperatuurafname berekenen we $\Delta\theta$ door $\theta_b - \theta_e$.

2.4 Verband tussen Q en $\Delta\theta$



ADS 8

Om het verband tussen Q en $\Delta\theta$ te onderzoeken, verwarmen we enkele hoeveelheden water en olijfolie en bestuderen de temperatuurstijging in functie van de toegevoerde warmte. Om gelijke warmtetoevoer te hebben, gebruiken we voor elke meting een joulevat en een dompelkoker met gelijk vermogen.

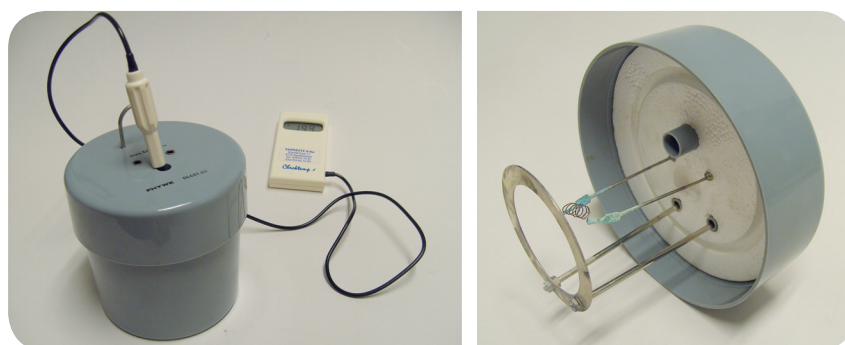


Fig. 11.6 Thermisch geïsoleerd joulevat met verwarmingssysteem

Per seconde wordt dus een vaste hoeveelheid energie afgegeven. Zo kunnen we de tijd als factor voor energiehoeveelheid aannemen.

In de tabel plaatsen we de gemeten temperaturen per minuut.

	0	1 minuut	2 minuten	3 minuten	4 minuten	5 minuten	6 minuten
1 kg water	20 °C	23 °C	26 °C	29 °C	32 °C	35 °C	38 °C
2 kg water	20 °C	22 °C	24 °C	26 °C	28 °C	30 °C	32 °C
1 kg olijfolie	20 °C	26 °C	32 °C	38 °C	44 °C	50 °C	56 °C
2 kg olijfolie	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C

We zetten de waarden uit in een grafiek:

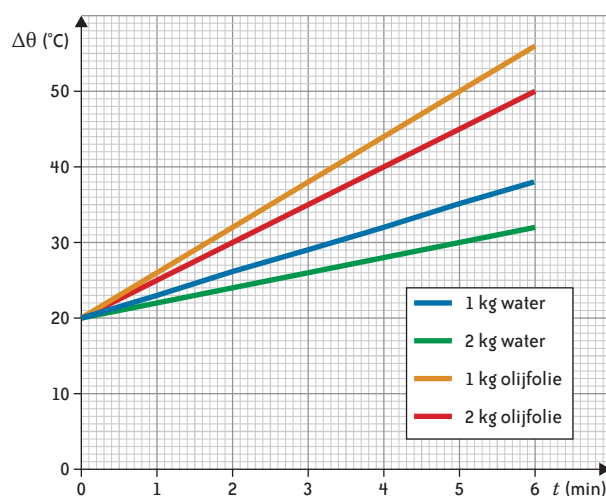


Fig. 11.7 $\Delta\theta(t)$ -grafiek voor water en olijfolie

Voor elke stof en hoeveelheid verkrijgen we een rechte. De temperatuurstijging is dus recht evenredig met de tijd. Aangezien het vermogen constant blijft, kunnen we ook stellen dat de temperatuurstijging recht evenredig is met de toegevoerde warmte.

De **temperatuurverandering** $\Delta\theta$ van een systeem is recht evenredig met de **warmtehoeveelheid** Q_{op} opgenomen door het systeem: $\Delta\theta \sim Q_{op}$.

Ook bij een temperatuurdaling zal het temperatuurverschil recht evenredig verlopen met de afgegeven warmte.

Als een systeem

- een warmtehoeveelheid Q_{op} opneemt, stijgt zijn temperatuur.
- een warmtehoeveelheid Q_{af} afstaat, daalt zijn temperatuur.



Fig. 11.8 Als een systeem warmte opneemt, stijgt zijn temperatuur; als een systeem warmte afgeeft, daalt zijn temperatuur.

3 Voorbeeldopdracht

De warmtehoeveelheid Q die geproduceerd wordt door een dompelkoker kunnen we rechtstreeks meten met een energiemeter. Meestal is op een dompelkoker het vermogen P aangeduid. Met een energiemeter kan je die waarde controleren.

Bereken de warmtehoeveelheid die gedurende 5,00 min geproduceerd wordt door een dompelkoker met een vermogen van 300 W.

GEGEVEN

$$\Delta t = 5,00 \text{ min} = 5,00 \cdot 60,0 \text{ s} = 300 \text{ s}$$

$$P = 300 \text{ W}$$

GEVRAAGD

Q

WERKWIJZE

Om Q experimenteel te bepalen, wordt de tijdsduur Δt waarin het toestel ingeschakeld is, gemeten en vermenigvuldigd met het vermogen P .

OPLOSSING

Je leerde dat het vermogen gelijk is aan de grootte W van de arbeid per tijdsduur Δt . De arbeid is gelijk aan de hoeveelheid energie ΔE die het toestel produceert.

$$\text{Dus is: } P = \frac{|W|}{\Delta t} = \frac{|\Delta E|}{\Delta t}$$

De hoeveelheid energie ΔE kunnen we hieruit berekenen: $\Delta E = P \cdot \Delta t$.

Alle energie ΔE wordt omgezet in warmte, dus is: $Q = \Delta E$.

De warmtehoeveelheid Q is dan gelijk aan: $Q = P \cdot \Delta t$.

Invullen van de gegevens levert $Q = 300 \text{ W} \cdot 300 \text{ s} = 900 \cdot 10^2 \text{ Ws} = 90,0 \text{ kJ}$.

CONTROLE

We onderzoeken later of deze warmtehoeveelheid voldoende is om een beker melk op te warmen, en welke warmtehoeveelheid Q_{op} opgenomen wordt door de melk.



Fig. 11.9 Een dompelkoker gebruik je altijd in een vloeistof.

Oplossing openingsvraag

- 1 De houten leuning, de metalen poten en de omgevende lucht hebben dezelfde temperatuur, omdat er thermisch evenwicht is. Tijdens het verwarmen van het lokaal, wordt er tussen de verschillende voorwerpen warmte uitgewisseld, totdat er een gelijke temperatuur bereikt is.
- 2 De poten voelen wel kouder aan dan het hout, omdat bij aanraking metaal de warmte van onze warme handen makkelijker afvoert.

Opgaven

A-REEKS



- 1 Bespreek de cartoon. Hoe verklaar je de waarneming van de herder?

Een dikke trui geeft geen warmte, maar verhindert
(door de lucht die ze vasthoudt) dat de
warmte van ons lichaam afgevoerd wordt (door
geleiding en straling).

Het schaap is een warmtebron, met een vermogen
van 100 tot 150 W.



- 2 Geef 2 voorbeelden van thermisch geïsoleerde systemen uit het dagelijkse leven.

Koffie in een thermosfles, ijsjes in een thermische tas ...



- 3 Een koud voorwerp en een warm voorwerp worden met elkaar in contact gebracht. Beoordeel en bespreek de volgende uitspraken.

- a Er is een temperatuurstroom tussen de voorwerpen.

Fout, er wordt warmte(energie) uitgewisseld en daardoor verandert de temperatuur.

- b De warmte opgenomen door het koude voorwerp is gelijk aan de warmte afgestaan door het warme voorwerp.

Fout, er kan ook warmte afgegeven worden aan de omgeving. Als de twee blokjes een geïsoleerd systeem vormen, is dit wel correct.

- c De temperatuurveranderingen van beide voorwerpen zijn gelijk.

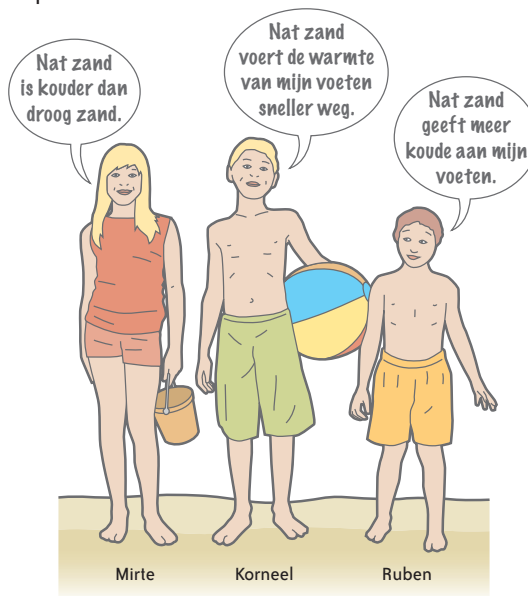
Fout, de ene temperatuur stijgt, de andere daalt, maar de grootte van de verandering is afhankelijk van de voorwerpen.

- d De inwendige energie van het koude voorwerp neemt toe.

Juist, zowel de inwendige kinetische energie, als de potentiële energie stijgt.



- 4 Wie heeft gelijk? Verklaar je antwoord.



Korneel heeft gelijk: de geleiding bij water is hoger dan bij lucht, waardoor nat zand kouder aanvoelt.



- 5 Wanneer je in de winter het klaslokaal binnenkomt, voelt het vaak koud aan. Na de les is het een stuk warmer.

- a Hoe komt dat?

Elk lichaam is 37 °C, de omgeving 18 °C. Wanneer ze samen zijn in de klas stralen de leerlingen warmte uit (θ_{personen} ↘) en warmt de klas op (θ_{klas} ↗). Dit blijft doorgaan zolang er geen thermisch evenwicht is. Ons lichaam compenseert het warmteverlies door voeding te verbranden. Ons lichaam is een warmtebron met een vermogen van 100 tot 150 W.

- b Wat gebeurt er als je na de les het raam openzet? Verklaar je antwoord.

De warme lucht stroomt van binnen naar buiten (convectie), hierdoor stroomt er koude lucht binnen en koelt de klas af.

B-REEKS / C-REEKS



6 De meest ecologische bouwvorm is een passiefwoning.

a Zoek op wat dit betekent.

Huizen waarbij de bouwmaterialen (ramen, muurisolatie) zo gekozen zijn om (bijna) uitsluitend met zonne-energie en thermische energie (warmtepompen) het huis te verwarmen en waarbij de luchtkwaliteit wordt geregeld door een gecontroleerde ventilatie.

b Beoordeel volgende uitspraak van een bouwfirma: 'Het principe van een passiefhuis is vergelijkbaar met dat van een thermos: het vangt warmte op en houdt ze vast.'

Fout, een thermos is een thermisch geïsoleerd systeem, een passiefhuis is dat niet, want:

– er is instroom van zonne-energie.

– er is een ventilatiesysteem om luchtkwaliteit (samenstelling, temperatuur, vochtigheid) te regelen.



7 Elisabeth warmt in de microgolfoven een beker water voor thee op tot het kookpunt. Jef maakt thee klaar door in een identieke beker die op de keukentafel staat kokend water te gieten. Welke uitspraak is correct? Verklaar je antwoord.

a De thee van Elisabeth en Jef is even warm.

b De thee van Jef is warmer.

c De thee van Elisabeth is warmer.

d Je kan niet voorspellen welke thee het warmst is, omdat het vermogen van het kookvuur en die van de microgolfoven niet gekend zijn.

Uitspraak c is correct: de thee van Elisabeth is warmer. Het water van Jef komt terecht in een koude beker, waardoor de thee warmte afstaat en afkoelt.



8 Om je kop chocomelk op de juiste temperatuur te krijgen, moet je op een microgolfoven zowel de correcte tijd als het juiste vermogen kiezen. Rangschik de eindtemperaturen in de volgende situaties van klein naar groot.

a 2 minuten op 750 W

b 2 minuten op 250 W

c 1 minuut op 500 W

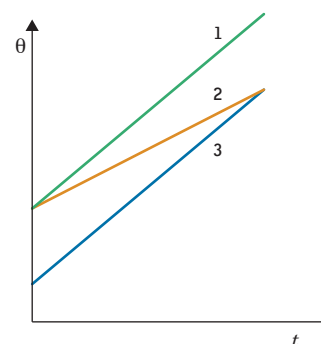
d 1 minuut op 1 000 W

$$\theta_b = \theta_c < \theta_d < \theta_a$$





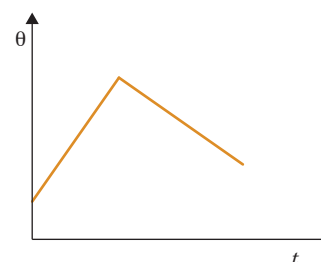
- 9 Drie bekertjes water van 20 cl worden opgewarmd met 3 dampelkokers. De temperatuur wordt opgemeten en is weergegeven op de grafiek. Rangschik de dampelkokers volgens vermogen.



$$P_2 < P_1 = P_3$$



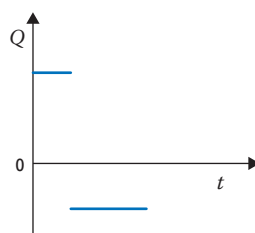
- 10 In de grafiek vind je een schematische weergave van het temperatuurverloop van een pot soep met het deksel op de pot.



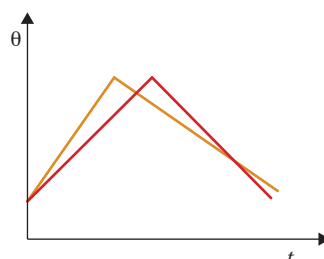
- a Beschrijf wat er op de verschillende tijden gebeurt met de temperatuur en de warmte-overdracht.

- De soeptemperatuur stijgt door warmtetoevoer vanuit de omgeving, bv. door een kookfornuis.
- De soeptemperatuur daalt door warmteafvoer naar de omgeving. De afkoeling gebeurt trager dan het opwarmen.

- b Teken de bijbehorende $Q(t)$ -grafiek.



- c Neem de $\theta(t)$ -grafiek over en teken het verloop van de pot soep zonder het deksel.



- 11 Een dampelkoker produceert in 2,50 minuten $6,75 \cdot 10^4$ J warmte. Welk vermogen heeft de dampelkoker?

$$P = Q/\Delta t = 6,75 \cdot 10^4 \text{ J}/150 \text{ s} = 450 \text{ W}$$



SAMENVATTING

1 Warmte en temperatuur

Temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de deeltjes van een voorwerp.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
temperatuur	θ	graad Celsius	$^{\circ}\text{C}$
	T	kelvin	K

De **warmtehoeveelheid** is een maat voor de hoeveelheid energie die zich verplaatst, uitgedrukt in joule.

grootheid	symbool	eenheid	symbool
warmtehoeveelheid	Q	joule	J

2 Warmtehoeveelheid en temperatuurverandering

Een **thermisch geïsoleerd systeem** wisselt geen warmte uit met zijn omgeving. Een joulevat is een thermisch geïsoleerd systeem om warmtemetingen uit te voeren.

Een **systeem** is in **thermisch evenwicht** als de temperatuur in dit systeem overal gelijk is.

De temperatuurverandering $\Delta\theta$ is het verschil tussen de eindtemperatuur en de begintemperatuur: $\Delta\theta = \theta_e - \theta_b$.

De **temperatuurverandering** $\Delta\theta$ van een systeem is recht evenredig met de **warmtehoeveelheid** Q_{op} opgenomen door het systeem: $\Delta\theta \sim Q_{\text{op}}$.