

NATUURKUNDE VOOR HET LABORATORIUMONDERWIJS

**warmteleer, uitzetting en warmtetransport
elektrische velden
atoomfysica**

Didactisch concept : Vervoort Boeken
Grafisch ontwerp: uwontwerp.nl Eindhoven
Versie 2018

ISBN 9789464180091
© Vervoort Boeken

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16 B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprerecht (Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

Verantwoording natuurkunde voor het laboratoriumonderwijs

Dit boek bevat de natuurkundige basiskennis die nodig is om de principes van veel voorkomende analyses op het lab te begrijpen.




Op de site www.vervoortboeken.nl staat een grote verzameling ondersteunend materiaal met veel links naar interactieve simulaties. Tevens staan hier ook de uitwerkingen van de opgaven. De onderwerpen zijn vooral gericht op het werken in een laboratoriumomgeving.

Dit boek is het resultaat van een continu ontwikkelingsproces door interactie met studenten en collega's.

Succes met 'Blended Learning'!

Jos Vervoort en Teo kleintjes

Gebruikte iconen :

 1.1	Reflectievragen
 3.2	Samenvatting voor aantekenschrift
 1.1	Verwijzing naar internetsite

1

Warmteleer.

Berekenen van opgenomen of afgestane warmte, soortelijke warmte.	opgave 1.1 t/m 1.4
Soortelijke warmte als stofeigenschap.	1.2
Elektrische energie en warmte, vermogen en rendement.	1.5 t/m 1.7
Warmte en temperatuur, eenheden van temperatuur.	1.8 t/m 1.9
Warmtecapaciteit en joulemeter	1.10
Smelten en stollen, smeltingswarmte, smelttraject.	1.11 t/m 1.12
Verdampen en condenseren, verdampingswarmte, kooktraject.	1.13 t/m 1.14
Verbrandingsproces, verbrandingswarmte.	1.15 t/m 1.16
Oploswarmte	1.17
$Q_{op} = Q_{af}$, bepalen soortelijke warmte, smeltwarmte, oploswarmte, verdampingswarmte.	1.18 t/m 1.23
Arbeid omzetten in warmte.	1.24
Warmtepomp	1.25
Warmte en energie bij het menselijk lichaam.	1.26

2

Uitzetting.

Lineaire uitzetting, lineaire uitzettingscoëfficiënt α .	2.1
Werking van een bimetaal.	2.2
Oppervlakte-uitzetting, oppervlakte- uitzettingscoëfficiënt β .	2.3
Volume-uitzetting, volume-uitzettings coëfficiënt γ .	2.4
Verband tussen α , β en γ .	2.5
Uitzetting bij vloeistoffen en gassen	2.6

3

Warmtetransport.

Soorten van warmtetransport.	opgave 3.1 t/m 3.2
Warmtegeleiding en warmteweerstand.	3.3 t/m 3.4
Analogie vloeistof- en warmtetransport.	3.5
Afkoelproces.	3.6
k - en R -waarde	3.7 t/m 3.8
Rekenen aan CV	3.9
Warmtetransport door straling, basisbegrippen golflengte en frequentie	3.10
Stralingswet van Stefan en Boltzman en wet van Wien.	3.11 t/m 3.12

4

Elektrische velden.

	Blz
1. Waarom elektrische krachten en velden?	64
2. Grootte en krachten van ladingen.	69
3. Veldsterkte, kracht en veldlijnen.	78
4. Energie in elektrisch veld.	84
5. Elektroforese.	93
6. Keuzeonderwerpen.	99
Bijlage elektrische velden	105

5

Atoomfysica.

	blz
1. Licht : golven of deeltjes.	106
2. Fotonen, elektronen en spectraallijnen.	114
3. Analysetechnieken.	128
4. Keuzeonderwerpen.	137

1

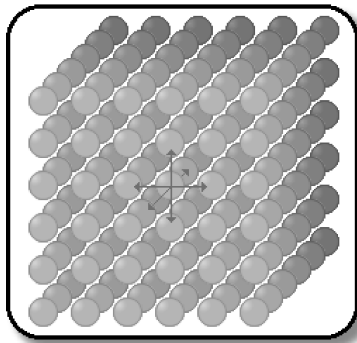
Warmteuitwisseling.

Verwarmen

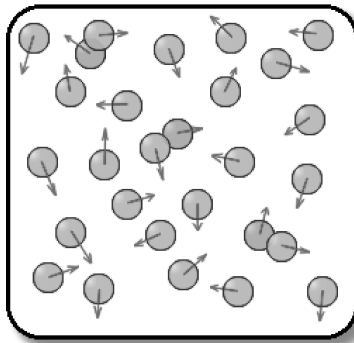
Bij het verwarmen van een stof krijgen de deeltjes (atomen of moleculen) een grotere snelheid. Bij een vaste stof betekent dit dat ze over een grotere afstand heen en weer bewegen (trillen). Bij een bepaalde temperatuur kunnen de deeltjes van elkaar los raken (smelten).

Verwarmen gebeurt door het verbranden van gas, elektrisch, door wrijving of door straling.

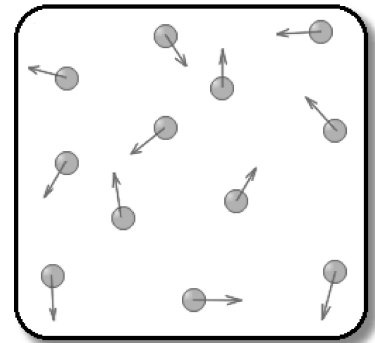
Warmte (Q) wordt gegeven in de eenheid joule(J).



vaste stof



vloeistof



gas

Opgave 1.1

Hoeveel warmte heb je nodig om een stof op te warmen?

In een tabellenboek kun je vinden dat water een soortelijke warmte (c) heeft van 4180 joule (J) per kilogram (kg), per graad Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

$$c = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$



1.1

- R1** Beschrijf in eigen woorden de betekenis van soortelijke warmte.
- R2** Beschrijf hoeveel joule nodig is om 2 kg ($m = 2 \text{ kg}$) water te verwarmen van $T = 20,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $T = 22,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

- R3** Bedenk een formule waarmee je de hoeveelheid warmte Q in joule uit kunt rekenen die nodig is om m kg water ΔT °C te verwarmen.
- R4** Wat zal de betekenis zijn van het symbool Δ (“delta”)

- a** Bereken de warmte die je moet toevoeren om 500 g water op te warmen van 20,0 °C naar 25,4 °C.



1.2

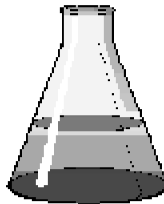
- R5** voorbeeld: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 0,500 \times 4180 \times 5,4 = 11286$ J afgerond $1,1 \cdot 10^4$ J
 Waarom moet je m in kg invullen?
 Waarom is $1,1 \cdot 10^4$ J beter dan 11286 J?

- b** Bereken hoeveel warmte je moet onttrekken om 1000 mL water af te koelen van 20,0 °C tot 5,0 °C.
- c** Je voert aan 100 mL water 1,0 kJ aan warmte toe. Bereken de temperatuurstijging.



1.3

- R6** Hoe heb jij dit bij opgave **c** aangepakt?
 Een schets maken om een overzicht te hebben is altijd verstandig.
 Vervolgens kun je de gegevens opschrijven.



$$V = 100 \text{ mL, dus } m = 0,100 \text{ kg}$$

$$c = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Q = 1,0 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Je kunt zo'n probleem op twee manieren aanpakken.

A Je vult de formule in.

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

$$1000 = 0,1 \cdot 4180 \cdot x$$

$$1000 = 418 \cdot x$$

$$418x = 1000$$

$$x = \frac{1000}{418} = 2,39$$

$$\Delta T = 2,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

B Je herleidt eerst de formule zodat ΔT is geïsoleerd.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$
$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$$
$$\Delta T = \frac{1000}{0,1 \cdot 4180} = 2,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

links en rechts delen door “m·c”

Waarom is afronden op 2 significante cijfers nodig?

Welke aanpak heeft jouw voorkeur en waarom?

d Bereken de massa van een stuk aluminium waarvan de temperatuur $20,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ stijgt na toevoeren van $23,2 \cdot 10^3 \text{ J}$ aan warmte.

Opgave 1.2

Water is erg geschikt om warmte in op te slaan?

stof	c in J/(kg · °C)
aluminium	900
bismut	123
koper	386
brons	380
goud	126
lood	128
zilver	233
zink	387
kwik	140
alcohol(ethyl)	2400
water	4190
ijs	2050
graniet	790
glas	840

- a** Beschrijf met eigen woorden hoe je de hoeveelheid warmte berekent die nodig is om 2,00 kg ijs te verwarmen van $-10,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ tot $-8,0 \text{ } ^\circ\text{C}$.
- b** Als je 100 g lood opwarmt van $20,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ tot $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ heb je veel minder warmte nodig dan bij 100 g koper. Welke factor minder?
- c** Zoek op internet via zoekprogramma (*specific heat lead*) waarom lood een lagere soortelijke warmte heeft dan koper.



1.4

R7 Beschrijf waarom zware metalen een kleine soortelijke warmte hebben ten opzichte van lichte metalen. Gebruik een schets.

R8 Waarom heeft een licht gas zoals waterstof een veel hogere soortelijke warmte dan zuurstof? Gebruik een schets.

R9 Welke vloeistof heeft de hoogste soortelijke warmte en wat is hiervan het grote voordeel?

Veel gegevens kun je vinden via de site [1.1](#)



1.1

Opgave 1.3

Opslag van zonne-energie bij een zonnecollector.



1.5

R10 Bekijk op internet de werking van een zonnecollector

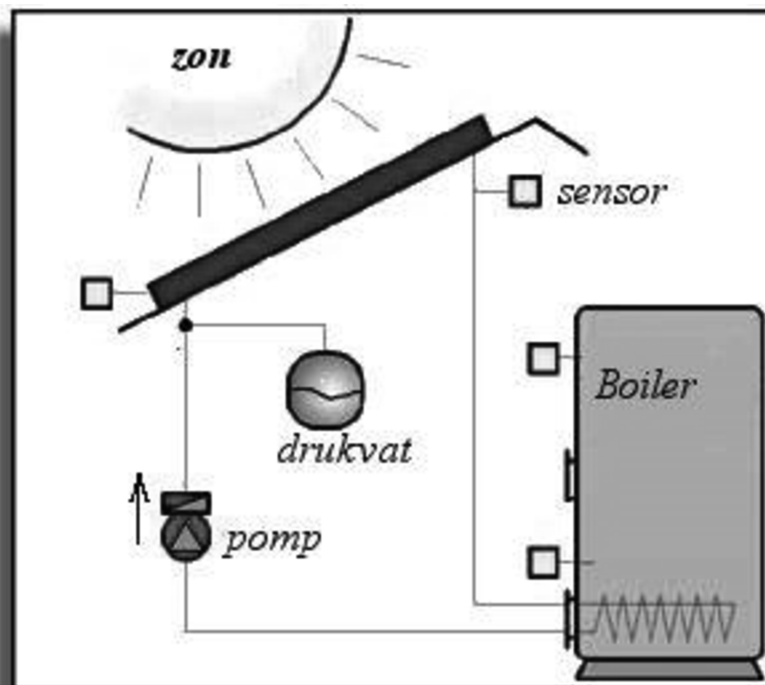
(zoekterm internet: *zonnecollector/afbeeldingen*)

Maak een schets van een eenvoudige zonneboilerinstallatie en beschrijf de werking.

In de hieronder afgebeelde installatie is een boiler opgenomen met een inhoud van 90 liter.

Door de zonnestraling wordt het water tot maximaal 60 °C opgewarmd. Voor water geldt $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Bereken de opgeslagen warmte in kJ t.o.v. 10 °C.



Opgave 1.4

Welke bodem is het snelst op temperatuur?

Twee pannen hebben een ronde bodem van 30,0 cm diameter en 5,00 mm dikte. Een pan is van roestvrij staal de andere van aluminium.

Ze worden beide met dezelfde kookplaat verwarmd tot 200 °C.

- Welke bodem zal het snelst op 200 °C zijn en waarom?
- Bereken het tijdsverschil. De kookplaat levert 1000 J per seconde.



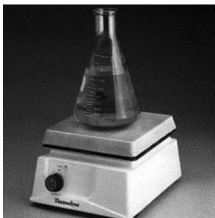
1.6

-
- R11 Maak een schets van de twee pannen en vermeld alle gegevens met de juiste eenheid. Zie tabel hierna.
- R12 Wat moet je eigenlijk eerst uitrekenen? Welke begintemperatuur kies je om de pannen te vergelijken? Wat is de massa van de bodems?
- R13 Als je de massa van de bodem in gram uitrekent, in welke eenheid moet je dan de soortelijke warmte nemen om de warmte uit te rekenen in joule?
- R14 Hoe nauwkeurig reken je de tijden uit en waarom?
-

<i>soortelijke warmte in J/g C</i>		<i>dichtheid in g/cm³</i>	
<i>aluminium</i>	0.897	<i>koper</i>	8.96
<i>roestvrij staal</i>	0.500	<i>roestvrij staal</i>	7.90
<i>ijzer</i>	0.449	<i>ijzer</i>	7.87
<i>koper</i>	0.385	<i>aluminium</i>	2.70

Opgave 1.5

Eenheden bij verwarmen.



Een elektrisch apparaat, zoals bijvoorbeeld een kookplaat, verbruikt een bepaalde hoeveelheid elektrische energie per s. Meestal wordt deze vermeld op het apparaat in kW (kilowatt).

1 kW is 1000 W (watt) ofwel $1000 \frac{\text{J}}{\text{s}}$ (1000 joule per seconde)

De energie per seconde noemt men vermogen en heeft het symbool P (power)

Vermogen P in watt (W) of joule per seconde ($\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$)



1.7

-
- R15 Een kookplaat heeft een elektrisch vermogen van 2 kW. Hoeveel joule wordt er per seconde, per minuut en per uur verbruikt?
- R16 Hoeveel joule verbruikt de kookplaat in 2 minuten en 15 seconden? Hoeveel verbruikt de kookplaat in 2,15 minuten?

R17 Bedenk een formule waarmee je de verbruikte elektrische energie (E_{el}) in joule (J) uit kunt rekenen als je de tijd (t) weet in seconden (s) en het vermogen (P) in watt (W).

- a** Een kookplaat heeft een vermogen van 850 W. Bereken het verbruik van elektrische energie tussen 14.25 u en 15.13 u .
b 70% van deze energie wordt door 6,00 liter water opgenomen waardoor de temperatuur stijgt. Bereken de temperatuurstijging van het water.

Opgave 1.6

Rendement bij een elektrisch verwarmingsproces.

Er zijn verschillende manieren om elektrisch te verwarmen. Ook de vorm en het materiaal van het vat of pan speelt een rol. Een deel van de geleverde warmte gaat verloren naar de omgeving. De energie die wordt gebruikt voor verwarming wordt nuttig genoemd.



1.8

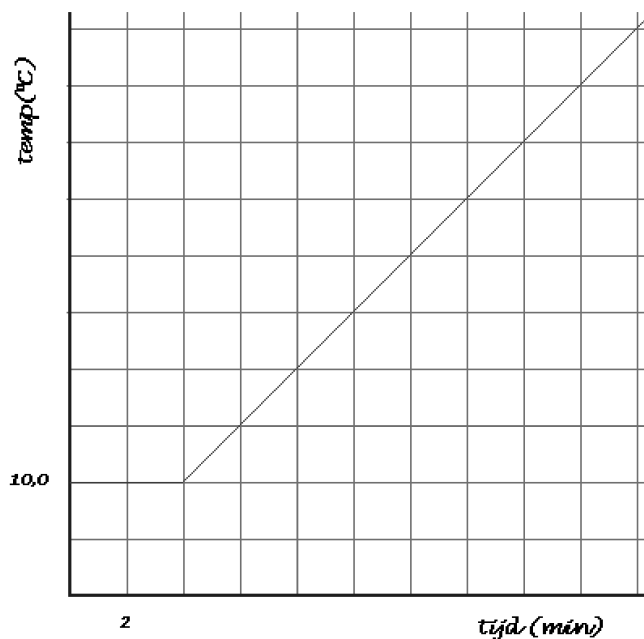
R18 Maak een schets waarin je de verbruikte energie en de nuttige energie aangeeft bij het verwarmen met een kookplaat.

E_{el} (verbruikte elektrische energie) is 25 kJ.

Q (warmte door water opgenomen) is 19 kJ.

Hoeveel procent is dan nuttig gebruikt voor de verwarming?

R19 Bedenk een formule om het rendement (η :spreek uit 'nu') uit te rekenen in % als je de nuttige energie (Q) en de elektrische energie (E_{el}) kent.



In de grafiek hiervoor is te zien hoe de temperatuur verloopt bij het opwarmen van 500 g water. De verwarming start op het tijdstip $t = 4,0$ min en de begintemperatuur is $10,0$ °C.

- Bereken de temperatuurstijging in °C per minuut.
- Bereken de toegevoerde warmte als de temperatuur opgelopen is tot 50 °C.
- Bereken het verwarmingsvermogen ofwel de warmte die per seconde wordt toegevoerd.
- De verwarming wordt gedaan met een kookplaat die een vermogen heeft van 100 W. Bereken het rendement bij dit verwarmingsproces.

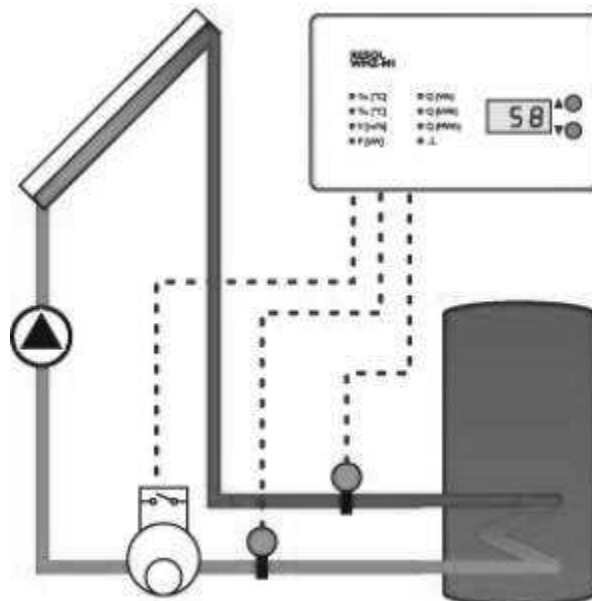
Opgave 1.7

Andere veel gebruikte eenheid van energie.

In de afbeelding hierna is een zonnecollectorsysteem te zien met daarop aangesloten een meetkastje dat aangeeft hoeveel warmte er is geleverd aan het opslagvat. De warmte wordt gemeten in de eenheid kWh. Op het kastje zijn twee temperatuur-sensoren en een debietsensor aangesloten. In het kastjes zit een computer die de geleverde energie uitrekent.

Met het signaal van de temperatuursensoren wordt de ΔT van het rondgepompte water berekend en met het signaal van de debietsensor wordt het aantal kg water per seconde berekend. Vervolgens worden alle warmtes per seconde opgeteld, ofwel geïntegreerd.

In een bepaalde seconde is $\Delta T = 4,0$ °C en is het debiet $0,12$ kg/s.



- a Bereken de warmte die in deze seconde wordt afgegeven aan het opslagvat.
- b Wanneer geldt $\Delta T = 0$?
- c Hoeveel warmte in J zit er in het vat bij $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ bij een opslagvolume van 180 liter. (Neem $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ als referentietemperatuur)
- d Bereken deze warmte in kWh.

1 kWh is het energieverbruik bij een vermogen van 1kW gedurende 1 uur of bij een vermogen van 2 kW gedurende 0,5 uur.

 1.9

R20 Hoeveel energie verbruikt een apparaat met een vermogen van 1000 W in 1 seconde?

R21 Hoeveel joule verbruikt dit apparaat in 1 uur?
Geef enkele combinaties van vermogen in kW en tijdsduur in uur bij een verbruik van 1 kWh.
Dus 1 kWh = J.

- e Wat kost de warmte van het opslagvat als je deze elektrisch zou moeten maken? We gaan er hierbij vanuit dat er geen verliezen zijn. Zoek op internet de prijs van elektrische energie (zoekterm: *prijs van 1 kWh*).



- f Hierboven zijn twee soorten meetinstrumenten te zien. Links is een Watt-meter afgebeeld. Hiermee kun je het vermogen meten van een elektrisch apparaat. Rechts is een kilowattuur- meter te zien, zoals in elke meterkast aanwezig, waarmee je de verbruikte energie kunt meten. De kWh-meter meet een verbruik van 2,33 kWh na 70 min. Welke waarde zal de Watt-meter aangeven?

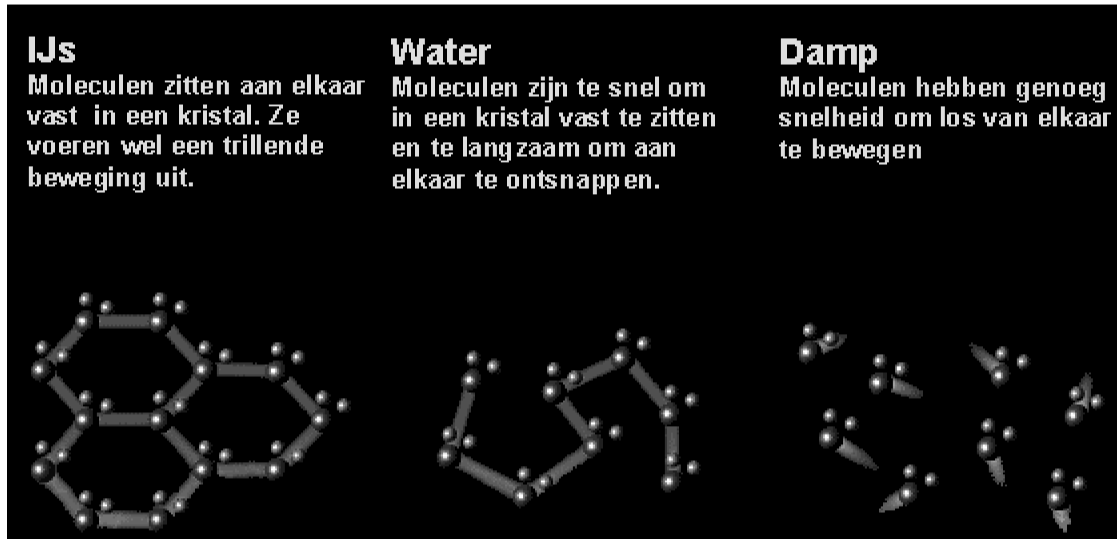


1.10

-
- R22 Hoe kun je uit het gemeten aantal kWh en de verbruiktijd het vermogen van een apparaat berekenen? Geef een getallenvoorbeeld.
- R23 In bepaalde artikelen kom je de eenheid kilowatt per uur tegen om het verbruik van apparaat aan te geven. Dit is een onmogelijke eenheid. Waarom?
-

Opgave 1.8

Warmte en temperatuur, welke informatie geven ze?



Een roest vrij stalen naald is ‘gloeiend’ en heeft bij 500 °C een warmte-inhoud van 150 J.

Een bakje water van 100 ml wordt 2 °C opgewarmd en daardoor neemt de warmte-inhoud toe met 820 J.



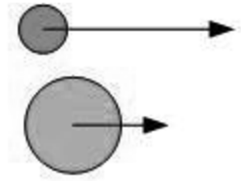
1.11

-
- R24 Beschrijf wat het verschil is tussen warmte en temperatuur. Hoe kan het dat een voorwerp van 200 °C minder energie heeft dan een voorwerp van 40 °C? Een zwaar blok kan minder zwaartekrachtenergie hebben dan een licht blok. Leg uit.
-

De temperatuur is een maat voor de gemiddelde snelheid van de moleculen of atomen en de warmte is een maat voor de energie van alle deeltjes samen.

Zo hebben de stikstofmoleculen in de lucht bij 20 °C een gemiddelde snelheid van ongeveer 330 m/s. De zwaardere zuurstofmoleculen hebben een gemiddelde snelheid die iets lager ligt.

De energie (in J) van een deeltje met een massa m (in kg) en een snelheid v (in m/s) kun je berekenen met de formule $E_k = 0,5mv^2$. Deze energie wordt bewegings- of kinetische energie genoemd.



$0,5mv^2$ is voor beide
massa's hetzelfde

Beide moleculen hebben evenveel energie. Bij het botsen hebben ze dezelfde impact. Ze hebben dezelfde temperatuur.

- a Bereken de gemiddelde kinetische energie van een stikstof molecuul ($m = 4,5 \cdot 10^{-26}$ kg)
- b Bij een bepaalde temperatuur hebben alle soorten moleculen in de lucht dezelfde gemiddelde bewegingsenergie. Leg uit waarom de grotere zuurstofmoleculen een lagere gemiddelde snelheid hebben.
- c Als je een vaste stof verwarmt loopt de temperatuur op tot een bepaalde maximale waarde, daarna gaan de moleculen of atomen niet sneller bewegen maar komen ze los van elkaar. Welk verschijnsel treedt hierop?
- d Als je een vloeistof verwarmt loopt de temperatuur op tot een bepaalde maximale waarde, daarna gaan de moleculen of atomen niet sneller bewegen maar ontsnappen ze. Welk verschijnsel treedt hierop?



1.12

R25 Beschrijf wat er gebeurt als je warmte aan een stof toevoert. Wanneer verandert de temperatuur en wanneer niet? Geef dit aan in een schets. Gebruik de namen “smelten” en “verdampen”. Als je warmte onttrekt aan een stof zal ook hierbij de temperatuur niet altijd dalen. Maak ook hierbij een schets en gebruik de namen “stollen” en “condenseren”.
