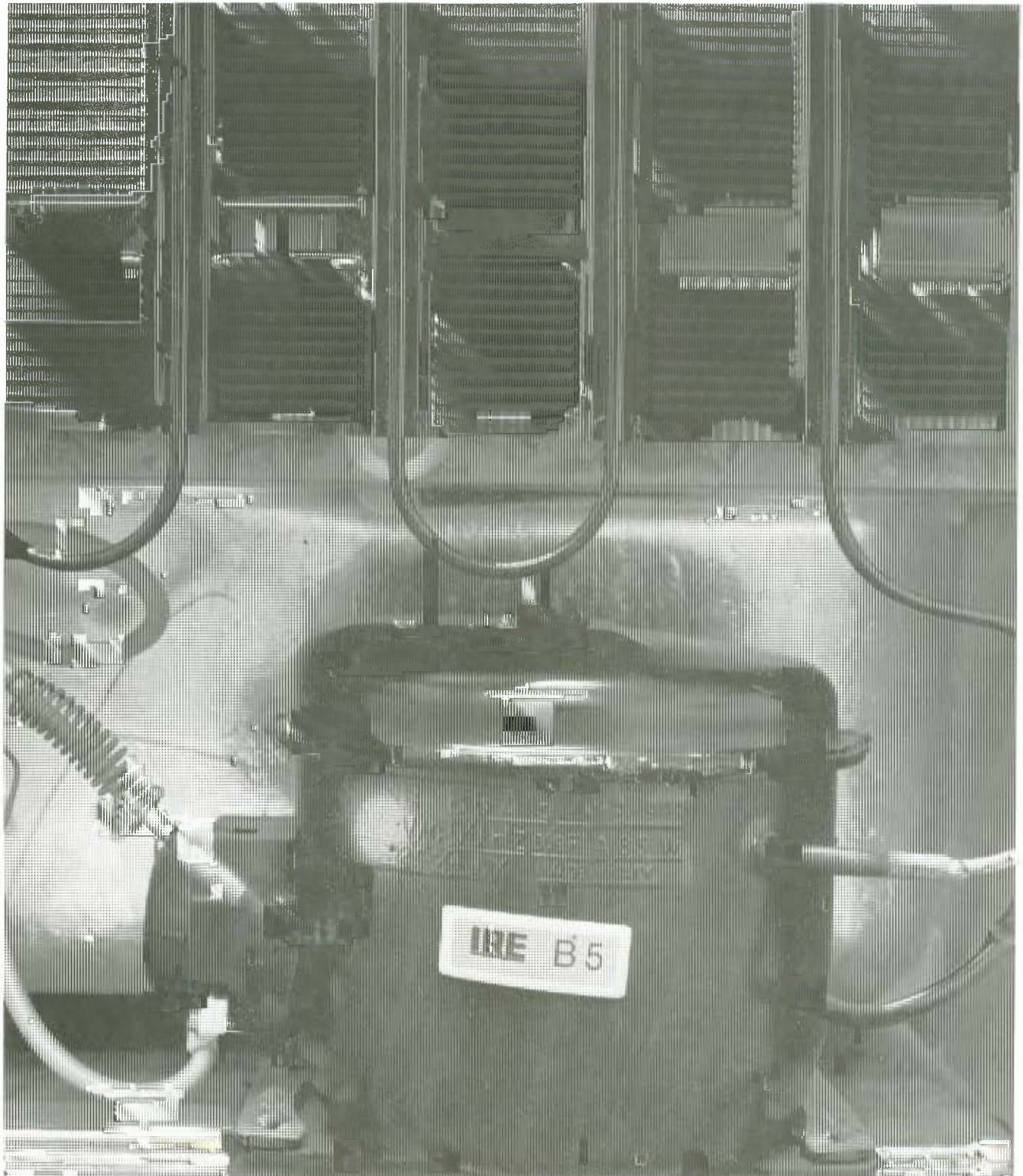


Blok 20 | Molekulen



Blok 20 Molekulen

Inhoudsopgave basisstof

	bladzijde
Inleiding	4
P 1. De fase van een stof	5
P 2. Het molekuulmodel	7
P 3. Koken en verdampen	10
P 4. Warmte en fase-overgangen	12
T 1. De fase van een stof	14
T 2. Het molekuulmodel	15
T 3. Koken en verdampen	17
T 4. Warmte en fase-overgangen	18
T 5. Bimetaal, temperatuurregeling, gasblok, thermostaat	24
W 1. De fase van een stof	25
W 2. Het molekuulmodel	25
W 3. Koken en verdampen	26
W 4. Warmte en fase-overgangen	27

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,
P 4, T 4^{I+II}, W 4 (tot 10), T 4^{III}, W 4 (vanaf 10),
T 5.

Overzicht differentiële stof

Herhaalstof	bladzijde
H 1. Model van een stof	30
H 2. Fase-overgangen; koken	32
H 3. Sommen over verwarmen en fase-overgangen	34
H 1. Antwoordblad	38
H 2. Antwoordblad	38
H 3. Antwoordblad	39

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

29. Een proef over oppervlaktespanning	42
30. Scheidingsvlakken maken	43
31. Vloeistofdruppels op een glasplaat	44
149. Oefenen met examensommen blok 20 (molekulen)	46

Extra stof die in de klas aanwezig is

36. Een koperdraad door een brok ijs trekken	
148. Molekulen en atomen	

Blok 20 Leerdoelen

Wat moet je kunnen aan het eind van blok 20

	Te vinden in:
1 Je moet weten in welke drie fasen een stof kan voorkomen.	P 1, T 1
2 Je moet de namen weten van de fase-overgangen tussen vast en vloeibaar en tussen vloeibaar en gas.	P 1, T 1
3 Je moet weten bij welke fase-overgangen warmte vrij komt en voor welke fase-overgangen warmte nodig is.	T 1
4 Je moet weten wat het smeltpunt en het stolpunt van een stof is.	T 1
5 Je moet weten wat een vluchtige vloeistof is en er tenminste twee voorbeelden van kunnen noemen.	T 1
6 Je moet de vijf eigenschappen van molekulen kennen.	T 2
7 Je moet het model van een stof in de vaste, in de vloeibare en in de gasvormige fase kennen.	T 2
8 Je moet proeven zoals in P2 staan kunnen verklaren met het molekuulmodel.	P 2, T 2
9 Je moet weten hoe groot de snelheid van de molekulen is bij het absolute nulpunt.	T 2
10 Je moet weten wat koken is.	P 3, T 3
11 Je moet weten dat een vloeistof door drukverlaging bij een lagere temperatuur en door drukverhoging bij een hogere temperatuur gaat koken.	T 3, W 3
12 Je moet vier manieren kunnen noemen om de verdamping van een stof te versnellen.	P 3, T 3
13 Je moet weten wat een verzadigde damp is en wat verzadigingsdruk is.	T 3
14 Je moet weten hoe de verzadigingsdruk afhangt van de temperatuur.	P 3, T 3
15 Je moet weten wat de smeltwarmte, de verdampingswarmte, de kondensatiewarmte en de stollingswarmte van een stof is.	P 4, T 4, W 4
16 Je moet een manier kennen om de smeltwarmte van ijs te bepalen.	P 4
17 Je moet sommen als in T 4 en in W 4 kunnen maken.	T 4, W 4

Inleiding

In klas 2 (blok 8) heb je kennisgemaakt met een model van een gas. In dit blok ga je modellen voor vloeistoffen en voor vaste stoffen maken. Met de eigenschappen van de molekulen en de modellen zul je allerlei verschijnselen, zoals koken, verdampen, smelten kunnen begrijpen. Verderop in het blok ga je berekeningen maken over de hoeveelheid warmte die nodig is om een stof te laten smelten of verdampen.

In het blok moet je enkele keren gebruik maken van de gegevens in de onderstaande tabel:

stof	smeltpunt in K	smeltwarmte in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	soortelijke warmte in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	kookpunt in K	verdampingswarmte in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
aluminium	932	400	0,88		
goud	1336	66	0,13		
koper	1356	205	0,39		
lood	601	25	0,13		
ijzer	1812	270	0,46		
zilver	1234	105	0,24		
messing	1170		0,38		
ijs	273	334	2,2		
alkohol	159	105	2,43	351	841
ether	157	115	2,3	308	377
water	273	334	4,2	373	2260
freon-12	123			243	
lucht	60		1,0	80	210
waterdamp			2,0		

P 1 De fase van een stof

1

- | tijd (in minuten) | temperatuur (in °C) |
|-------------------|---------------------|
| | |

- 2

Verklaar het verschil met a.

We bekijken de verandering van toestand bij drie andere stoffen.

3

Doe wat paraffine (kaarsvet) in een reageerbuisje.

a. Bepaal de massa van het buisje met inhoud.

..... g.

b. Verwarm de paraffine door het reageerbuisje in een bakje met warm water te houden. Schrijf op wat je waarneemt.

.....
.....
.....
Wat is er met de paraffine gebeurd?

c. Bepaal de massa van het buisje met inhoud.

..... g. Vergelijk dit resultaat met 3a.

d. Laat het buisje langzaam afkoelen en bekijk zo nu en dan de paraffine.

Schrijf op wat je waarneemt.

.....
.....
.....
Hoe noem je deze verandering?

4

Doe in een reageerbuisje 2 à 3 kleine kristalletje jodium.

Niet meer dan 2 à 3 kristalletjes want jodium is giftig.

a. Verwarm de kristalletjes door het reageerbuisje boven een gasbrander te houden. Zorg ervoor dat je een kleurloze vlam hebt en beweeg het buisje door de vlam heen en weer.

Beschrijf wat er met de jodium gebeurt.

b. Bekijk ook de wand van het buisje. Wat zie je?

5

Maak een flesje parfum open en ruik eraan.

a. Wat neem je waar?

b. Wat is er dus met het parfum gebeurd?

6

Neem een zakdoekje met eau-de-cologne en breng hiervan iets op de rug van je hand.

a. Wat gebeurt er met het eau-de-cologne?

b. Wat voel je?

c. Probeer een verklaring te geven.

P 2 Het molekuulmodel

In blok 8 hebben we kennis gemaakt met een model van een gas. In dat model nemen we aan, dat een gas bestaat uit molekulen. Met de eigenschappen van deze molekulen kunnen we proeven verklaren. Inmiddels weten we, dat met een gas wordt bedoeld, een stof in de gasvormige fase. Dezelfde stof kan overgaan in de vloeibare en in de vaste fase. We moeten het model van een stof in de gasvormige fase uitbreiden naar een model voor een stof in welke fase dan ook. Om het model te kunnen uitbreiden zul je eerst meer te weten moeten komen over de eigenschappen van een stof in de verschillende fasen. Je zult dus een aantal proeven moeten doen.

Je gaat achtereenvolgens onderzoeken wat er gebeurt bij temperatuurverhoging, samendrukken en samenvoegen van stoffen. De vierde proef gaat over krachten in vloeistoffen en krachten tussen vloeistoffen en vaste stoffen.

1

Verandering van temperatuur.

- a. Temperatuurverandering van een stof in de vaste fase.

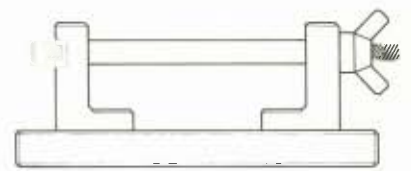
De proef van Tyndall.

In verband met de veiligheid moet deze proef door je leraar worden uitgevoerd.

Hiernaast zie je het toestel van Tyndall getekend. Tussen de houders A en B bevindt zich een stevige ijzeren staaf. Bij uiteinde A wordt de staaf vastgehouden door een gietijzeren staafje.

Bij uiteinde B wordt de staaf zo vast mogelijk aangedraaid, met behulp van een vleugelmoer op een schroefdraad.

De staaf wordt geruime tijd flink verwarmd. Kan tijdens het verwarmen de moer nog vaster worden aangedraaid?



Toestel van Tyndall

Konklusie:

Bij verwarming

Draai de verwarmde staaf zo vast mogelijk aan en giet koud water over de staaf. Verklaar wat je ziet gebeuren.

- b. Temperatuurverandering van een stof in de vloeibare fase.

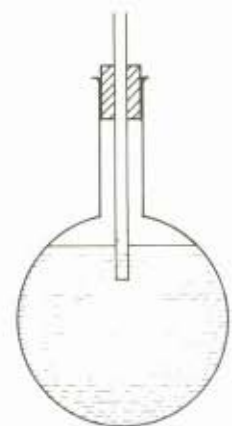
Vul een kleine kolf met spiritus. Steek door een kurk een dun glazen buisje en doe daarna de kurk op de kolf. Er zal dan wat spiritus opstijgen in het buisje.

Geef met een viltstift of met een elastiekje het nivo van het spiritus in het buisje aan.

Zet daarna de kolf in een bekersglas met heet water. Wat gebeurt er met het spiritusnivo in het buisje op het moment dat de kolf in het hete water komt?

En enkele sekonden daarna?

Wat gebeurt dus met het glas en met het spiritus bij verwarming?



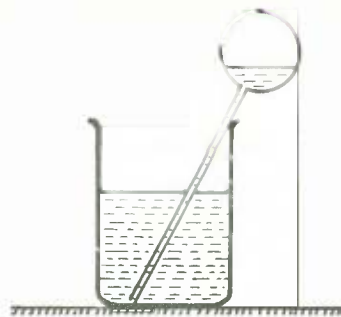
- c. Temperatuurverandering van een stof in de gasvormige fase. De proef met het glazen bolletje (deze proef heb je in blok 8 al eens uitgevoerd).

Een glazen bolletje staat via een dun buisje in verbinding met de buitenlucht. We verwarmen de lucht in het bolletje door het bolletje in de hand te houden. Vervolgens steken we het buisje in een beker met koud water, koelen het bolletje af door er koud water over te gieten en kijken wat er gebeurt.

Wat gebeurt er?

Verklaring:

Probeer zelf conclusies te trekken uit a tot en met c.



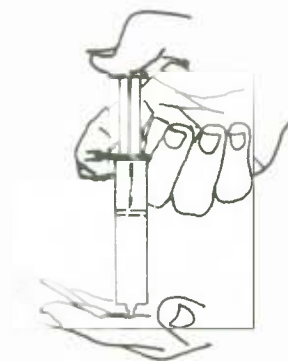
2

Samendrukbaarheid

- a. Neem een plastik of glazen injectiespuit zonder naald.
Zuig in de spuit een hoeveelheid lucht en houd daarna je vinger op de opening. Is de lucht in de spuit samen te drukken?
- b. Zuig met de injectiespuit van proef 2a een hoeveelheid water op. Is het water in de spuit samen te drukken?
- c. Neem in je handen een blokje metaal. Kun je dit metaal met je handen samendrukken?

Vergelijk de resultaten van a tot en met c.

Konklusie:

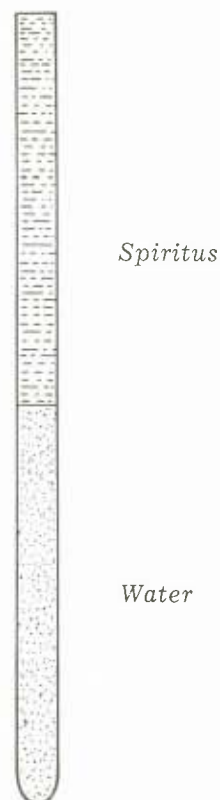


3

Het samenvoegen van verschillende vloeistoffen

- a. In proef 4 van P 1, blok 8, hebben we waargenomen dat verschillende gassen vanzelf met elkaar mengen. We noemen dit diffusie van gassen. Je gaat nu onderzoeken of vloeistoffen ook diffusie vertonen. Vul een reageerbuis voor de helft met water. Houd de reageerbuis een beetje scheef en laat langs de binnenwand voorzichtig spiritus op het water lopen. Er ontstaat dan een duidelijk scheidingsvlak tussen het water en de daarop drijvende spiritus.
- Sluit de reageerbuis af met een kurk en laat de reageerbuis enkele dagen in een statiefje staan. Bestudeer in die tijd enkele keren het scheidingsvlak tussen water en spiritus.

Konklusie:



- b. Je gaat nu twee vloeistoffen mengen.
Spuut in een buret eerst een hoeveelheid water en daar bovenop een hoeveelheid spiritus. Lees het volume van beide vloeistoffen af.

..... ml.

Zet je vinger op het buret en keer het buret enkele keren om, zodat de beide vloeistoffen goed mengen. Lees daarna nog eens het totale volume af.

..... ml.

Konklusie:

.....

.....

4

Krachten: kohesie en adhesie

- a. Vraag aan je leraar of hij op een glasplaat een druppel kwik, een druppel water en een druppel olie giet.

Je mag dit niet zelf doen, omdat kwik giftig is!

Kijk nauwkeurig naar de druppels en probeer ze alle drie hieronder na te tekenen.



glasplaat

- b. Vul een glas tot de rand met water. Kijk daarna hoeveel dubbeltjes je in het glas kunt laten vallen, voordat het water over de rand loopt. Let goed op het wateroppervlak terwijl je bezig bent.

Konklusie:

.....

.....

.....

.....

- c. Los wat kaliumpermanganaat op in een beerglass met water. Er ontstaat dan een paarse vloeistof (let op je handen en op je kleding: kaliumpermanganaat geeft bruine vlekken). Giet een hoeveelheid van de paarse vloeistof in een spits toelopend bakje. Wat zie je als je kijkt naar het oppervlak van de vloeistof?

.....

.....

.....

.....



Het verschijnsel dat twee hoeveelheden van dezelfde stof elkaar aantrekken noemen we **kohesie**.

Het verschijnsel dat er tussen hoeveelheden van verschillende stoffen aantrekking is noemen we **adhesie**.

Kohesie en adhesie zijn voor verschillende stoffen vaak verschillend van grootte.

Probeer proef 4a tot en met c met kohesie en adhesie te verklaren.

.....

.....

.....

.....

P 3 Koken en verdampen

In deze paragraaf ga je verdampen en koken van vloeistoffen onderzoeken. We weten inmiddels wat het smeltpunt van een stof is: de temperatuur waarbij de stof van de vaste fase overgaat in de vloeibare fase.

Het kookpunt is misschien wel de temperatuur waarbij de stof overgaat van de vloeibare fase naar de gasvormige fase. Dus de temperatuur waarbij de stof verdampt.

Wat vind je van die veronderstelling?

Je zult door nauwkeurig te kijken het koken van een vloeistof moeten bestuderen en de veronderstelling moeten nagaan.

1 Het koken van water

Breng een bekerglas met water en thermometer aan de kook. Lees regelmatig de thermometer af en schrijf op wat je waarneemt tijdens het verwarmen.

Zet het bekerglas met heet water op een balans en probeer met gewichtjes evenwicht te maken. Lukt het?

Klopt onze veronderstelling over het kookpunt?

Hoe zou je het kookpunt moeten omschrijven?

2 Verdampen

In deze proef ga je onderzoeken hoe je een stof sneller kunt laten verdampen. Eén manier heb je al in de vorige proef kunnen ontdekken

Manier 1:

Vraag aan je leraar of hij de volgende proeven laat zien.

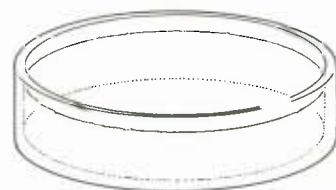
Je hebt een hoeveelheid ether. De helft giet je in een petrischaaltje, de andere helft in een reageerbuisje. Wat neem je waar?

Op welke manier kun je het verdampen versnellen?

Manier 2:

Neem twee petrischaaltjes met dezelfde hoeveelheid ether. Wapper met je hand of met een papiertje over één van de twee schaaltes.

Wat neem je waar?



Manier 3:

Onder een glazen stolp staat een petrischaaltje met ether. We verlagen de druk onder de stolp door lucht weg te zuigen. Wat neem je waar?

Manier 4:

3

Damp en druk

Bekijk de opstelling hiernaast. De injectiespuit is gevuld met ether. Hij staat in verbinding met de buis, die op zijn beurt weer verbonden is met een manometer (drukmeter).

Deze proef wordt gedemonstreerd.

We druppelen ether in de buis.

Wat neem je waar?

We druppelen meer ether in de buis, totdat de manometer geen verandering meer aangeeft.

Wat zie je in de buis?

Verwarm de buis met je hand.

Wat gebeurt er? (let ook op de ether in de buis).



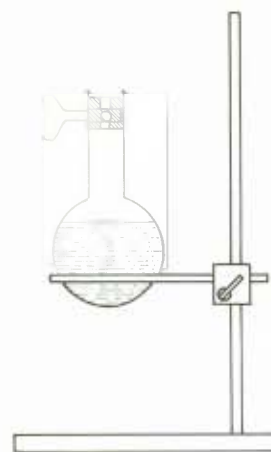
4

De proef van Franklin

Deze proef wordt voor de klas uitgevoerd. Aan een statief is een kolf met water bevestigd. De kolf is af te sluiten met een kraantje. Terwijl het kraantje open staat, wordt het water aan de kook gebracht met een brander. Daarna wordt de brander verwijderd en het kraantje dichtgedraaid. Kookt het water in de kolf nu nog?

Vervolgens gieten we koud water over de kolf.

Waarneming:



P 4 Warmte en fase-overgangen

1

Voor deze proef heb je twee blokjes nodig van respectievelijk aluminium en messing met dezelfde massa. Breng een bekglas water aan de kook en laat de beide blokjes enige tijd meekoken.

- a. Neem een bekglas gevuld met water op „kraantemperatuur” en bepaal de begintemperatuur.

$T_{\text{begin}} = \dots\dots\dots$ K.

Dompel het blokje aluminium vanuit het kokende water in het koude water.

Bepaal de eindtemperatuur.

$T_{\text{eind, 1}} = \dots\dots\dots$ K.

- b. Gooi het bekglas leeg en herhaal het experiment maar nu met messing.

$T_{\text{eind, 2}} = \dots\dots\dots$ K.

- c. Verklaar de resultaten van a. en b. Gebruik bij je verklaring de waarden van de soortelijke warmte van messing en aluminium.

.....

.....

.....

.....

2

Doop een propje watten in ether en houd het propje tegen het reservoir van thermometer. Wat neem je waar?

.....

.....

.....

Welke konklusie kun je uit deze proef trekken?

3

Neem een plastik vingerhoedje en giet het vol met gips. Het gips wordt hard. Houd de vingerhoed vast.

Wat voel je en welke konklusie kun je trekken uit deze proef? (In plaats van gips kun je ook natriumthiosulfaat gebruiken.)

.....

.....

.....

4

In T 3 heb je je bezig gehouden met water. Wat gebeurt er met de temperatuur van kokend water bij verder verwarmen?

.....

.....

.....

Wat is daar de oorzaak van?

Bekijk de drie proeven hierboven nog eens.

Welke algemene konklusie kun je trekken over veranderingen van fasen?

.....

.....

.....

5

In de tabel op bladzijde 4 is onder andere de smeltwarmte van een aantal stoffen gegeven.

Uit de tabel kun je lezen dat de smeltwarmte van ijs $334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ is.

Voor zilver is de smeltwarmte $105 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

a. Wat betekent volgens jou smeltwarmte?

.....

.....

b. Wat kost de meeste warmte?

- Het smelten van 1,0 kg zilver;
- Het smelten van 0,5 kg water

.....

.....

T 1 De fase van een stof

Je hebt in P 1 gezien:

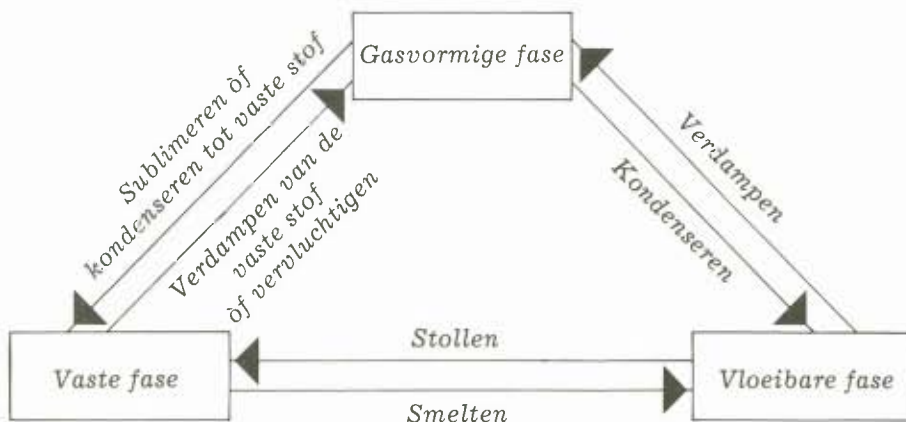
1. Water kan in drie verschillende toestanden voorkomen: vast (ijs), vloeibaar (water) en damp (waterdamp).
Paraffine, jodium en parfum kunnen ook in verschillende toestanden voorkomen.
2. Zo'n toestand kan veranderen. Er komt dan een andere toestand voor in de plaats.
Bijvoorbeeld de vaste paraffine kan vloeibaar worden.

Voor zo'n verandering moet de stof meestal verwarmd of afgekoeld worden. De toestanden waarin een stof kan voorkomen noem je de **fasen** (of: aggregatie-toestanden).

In het algemeen kunnen stoffen in drie fasen voorkomen: de vaste fase, de vloeibare fase en de gasvormige fase.

Een verandering van fase noem je **fase-overgang**. Elke fase-overgang heeft een naam. Bijvoorbeeld de fase-overgang van de vaste fase naar de vloeibare fase noem je smelten.

Alle fase-overgangen en hun namen vind je in het volgende schema:



Bij de proeven 1 tot en met 4 van P 1 is warmte aan de stoffen toegevoerd. Hierdoor kan het ijs smelten, het water verdampen, de paraffine smelten en het jodium vervluchtigen.
Bij proef 3d heb je vloeibare paraffine afgekoeld met koud water. Je onttrekt aan de vloeibare paraffine warmte, waardoor het gaat stollen.

**Bij een fase-overgang geldt in het algemeen:
er komt warmte vrij of er is warmte nodig.**

Warmte komt vrij bij: kondenseren, stollen, sublimeren.

Warmte is nodig voor: smelten, verdampen, vervluchtigen.

Soms lijkt het echter alsof dit niet opgaat. Denk maar aan proef 5: de parfum verdampt zonder extra verwarming.

Hoe kan de parfum dan eigenlijk verdampen? Welnu, de warmte die voor de verdamping nodig is, krijgt de parfum van zijn omgeving. Die omgeving (de lucht, het flesje) wordt dus kouder.

Dit was heel duidelijk te merken bij proef 6: door de verdamping van het eau-de-cologne wordt je hand kouder. Om dezelfde reden lijkt het altijd zo koud als je onder de douche vandaan komt: het water op je lichaam verdampt. De benodigde warmte wordt aan je lichaam onttrokken en je lichaam koelt af.

Je zag bij proef 1 dat tijdens het smelten van ijs de temperatuur konstant 0°C ($= 273\text{ K}$) blijft. In het algemeen geldt:
Tijdens een fase-overgang is de temperatuur konstant.

Het **smeltpunt** van een stof is de temperatuur waarbij de stof overgaat van de vaste fase naar de vloeibare fase.

Het **stolpunt** van een stof is de temperatuur waarbij de stof overgaat van de vloeibare fase naar de vaste fase.

Smeltpunt en stolpunt zijn aan elkaar gelijk.

Voorbeeld: het smeltpunt van ijs (273 K) = het stolpunt van water (273 K).

Tot slot nog enkele opmerkingen:

- Bij een bepaalde temperatuur verdampt de ene vloeistof gemakkelijker dan de andere. Een vloeistof die bij kamertemperatuur erg snel verdampt is parfum. Je noemt parfum daarom een **vluchtige** vloeistof. Andere vluchtige vloeistoffen zijn ether, benzine en aceton. Niet-vluchtige vloeistoffen zijn olie, kwik en glycerol.
- Niet alle stoffen kunnen in verschillende fasen voorkomen. Bijvoorbeeld papier wordt als bij verhitting.

T 2 Het molekuulmodel

In deze paragraaf maken we een model van een stof voor drie fasen. Dat model van een stof moet de eigenschappen van de stof kunnen verklaren. Door zo'n voorstelling kun je beter begrijpen wat er gebeurt bij fase-overgangen, uitzetting door verwarming enzovoorts. Soms kun je ook voorspellingen doen door je model te bestuderen. Die voorspellingen kun je dan controleren met een proef.

Om een model van een stof op te bouwen heb je bouwstenen nodig. We nemen aan dat een stof uit molekulen bestaat. De molekulen zijn zeer kleine deeltjes. Elke stof heeft zijn eigen type molekuul, zodat er een groot aantal verschillende molekulen zijn.

De molekulen bezitten eigenschappen:

1. De molekulen hebben massa.
2. Er bevindt zich ruimte tussen de molekulen.
3. De molekulen bewegen.
4. Hoe sneller de molekulen bewegen, des te hoger is de temperatuur van de stof.
5. Op korte afstand van elkaar trekken de molekulen elkaar aan.

Met de bouwstenen (molekulen) en hun eigenschappen maken we het model van een stof. Hieronder staat een beschrijving van het model. Er staan proeven en verschijnselen bij vermeld die we met het model kunnen verklaren.

Molekuulmodel van een stof in de vaste fase:

In de vaste fase van een stof zijn de molekulen regelmatig gerangschikt. We noemen zo'n regelmatige rangschikking een rooster. Dat blijkt onder andere uit de kristalstructuur van veel vaste stoffen. De afstand tussen de molekulen in het rooster is klein.

Dat de afstand tussen de molekulen klein is, wordt bevestigd door de kleine samendrukbaarheid van een stof in de vaste fase.

De molekulen trillen in het rooster. Ze kunnen niet door elkaar bewegen. Doordat bij temperatuurverhoging de molekulen sneller gaan trillen (eigenschap 4) wordt de afstand tussen de molekulen groter.

Dat de afstand tussen de molekulen groter wordt bij temperatuurverhoging, is duidelijk omdat een stof in de vaste fase uitzet.

Fase-overgang

Wanneer een stof in de vaste fase voldoende wordt verwarmd, gaan de molekulen zo hevig trillen dat de aantrekkende kracht niet meer voldoende is om de molekulen op hun vaste plaats in het rooster te houden. Je neemt dan waar dat de stof smelt.



Molekuulmodel van een stof in de vloeibare fase

In de vloeibare fase van een stof kunnen de molekulen vrij langs elkaar heen bewegen. De afstand tussen de molekulen is groter dan bij een stof in de vaste fase, maar toch nog steeds vrij klein.

Dat de afstand tussen de molekulen nog steeds vrij klein, is duidelijk uit de geringe samendrukbaarheid.

Wel kunnen in sommige gevallen de molekulen tussen elkaar in gaan zitten, bijvoorbeeld bij spiritus en water.

Door de vrij kleine afstand tussen de molekulen oefenen de molekulen een aantrekkende kracht op elkaar uit.

De aantrekkende kracht blijkt uit het feit dat kleine hoeveelheden van een stof in de vloeibare fase druppels vormen.

Een temperatuurverhoging van de stof betekent een grotere snelheid van de molekulen, de afstand tussen de molekulen wordt dan groter.

Fase-overgang

Wanneer een stof in de vloeibare fase voldoende wordt verwarmd, kan de snelheid van de molekulen zo groot worden, dat aan de oppervlakte van de vloeistof molekulen uit de stof ontsnappen.

Je neemt dan waar dat de stof verdampt.

(Op het verdampen komen we in P 3 en T 3 nog uitgebreid terug).

Molekuulmodel van een stof in de gasvormige fase

In de gasvormige fase van een stof bevindt zich véél ruimte tussen de molekulen.

Dat zich véél ruimte tussen de molekulen bevindt, volgt uit de grote samendrukbaarheid van een stof in de gasvormige fase.

De molekulen bewegen zeer snel langs elkaar en botsen vaak tegen andere molekulen en tegen de wand. Door de grote snelheden van de molekulen spelen de aantrekkende krachten géén rol van betekenis. Bij temperatuurverhoging van de stof gaan de molekulen sneller bewegen. Hierdoor wordt de afstand tussen de molekulen groter.

Fase-overgangen:

Bij een daling van de temperatuur kan de stof van de gasvormige fase weer overgaan in de vloeibare fase.

Bij verdere temperatuurdaling zal weer de vaste fase ontstaan, waarbij de stof meestal uitkristalliseert.

De snelheid van de molekulen is een maat voor de temperatuur van de stof. Een verlaging van de temperatuur betekent dat de molekulen minder snel door elkaar gaan bewegen of minder snel op hun plaats trillen.

Het absolute nulpunt van 0 K is de temperatuur waarbij de molekulen niet meer bewegen. Een lagere temperatuur is niet mogelijk.

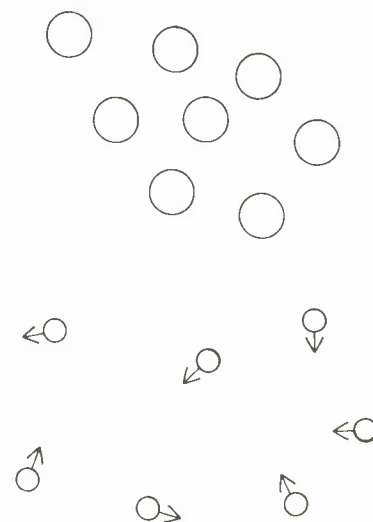
We hebben nu een model van een stof, waarmee we veel proeven en verschijnselen kunnen verklaren. In het voorafgaande zijn daarvan voorbeelden gegeven.

Toch zijn lang niet alle eigenschappen van stoffen en verschijnselen te verklaren. Denk maar eens aan de kleur van een stof, die kun je niet met dit model verklaren.

In de natuurkunde is men niet stil blijven zitten. Men heeft om meer te kunnen verklaren modellen van molekulen gemaakt met als bouwsteen **atoom**. Dat was nog niet voldoende: er zijn modellen van atomen ontworpen met in het begin als bouwstenen: **elektronen, protonen en neutronen**.

Later bleken veel meer bouwstenen nodig om experimenten te kunnen verklaren. Op dit moment heeft men zelfs een model van protonen en neutronen gemaakt met de bouwsteen **quark**. Zo zoeken natuurkundigen verder naar de opbouw van de materie.

Wij zullen genoeg nemen met ons eenvoudig model omdat de verschijnselen die wij bestuderen daar redelijk mee te verklaren zijn.



T 3 Koken en verdampen

We gaan hier de proeven uit P 3 nog eens bekijken en proberen te verklaren wat we hebben gezien.

Het koken van water

Waarneming:

In het begin ontstaan kleine belletjes in het water, die even later weer verdwijnen. Bij hogere temperaturen zie je onder in het water grotere bellen. Deze stijgen op en verdwijnen hogerop in het water weer. Het geluid dat hiermee gepaard gaat heet razen of zingen.

Bij ongeveer 100°C (= 373 K) verdwijnen die grotere bellen niet meer. Ze bereiken het wateroppervlak en spatten daar uit elkaar, waardoor het water hevig gaat borrelen.

De temperatuur stijgt niet verder: het water kookt.

Verklaring:

In water is gas opgelost (denk maar eens aan de vissen: bij het ademen halen ze zuurstofgas uit het water). Als de temperatuur nu hoog genoeg wordt, verdwijnt het gas uit het water. Dit zijn de kleine belletjes in het begin. De grotere bellen ontstaan op een andere manier. Bij wat hogere temperaturen is het water onderin het bekersglas zo heet dat het verdampt: er ontstaan dampbellen. De grotere bellen zijn dus gevuld met waterdamp. Deze dampbellen hebben een kleinere dichtheid dan de vloeistof en stijgen op. Omdat hogerop in het water de temperatuur lager is, kondenseert deze damp weer en de bellen verdwijnen.

Na enige tijd stijgt ook de temperatuur hogerop in het water en ontstaan de dampbellen ook daar.

Als de temperatuur hoog genoeg is, vindt er verdamping plaats door het hele water heen: het water kookt.

De temperatuur stijgt dan niet verder, want alle warmte is nodig voor deze verdamping. De temperatuur waarbij dit gebeurt heet het kookpunt. Het kookpunt van water is onder normale omstandigheden 100°C. Het kookpunt is voor iedere vloeistof anders.

Tijdens het verwarmen van water worden bij temperaturen lager dan het kookpunt de dampbellen in elkaar gedrukt. Deze druk op de dampbellen wordt uitgeoefend door de lucht en de damp boven de vloeistof. Als je de druk boven de vloeistof verlaagt, kunnen de dampbellen eerder bovenaan komen. Ze worden immers minder snel in elkaar gedrukt. Door drukverlaging gaat een vloeistof bij een lagere temperatuur koken.

Je kunt nu begrijpen dat bij drukverhoging de vloeistof bij een hogere temperatuur kookt. Het is dan juist moeilijker voor een dampbel om boven te komen. (Hij wordt eerder in elkaar gedrukt.)

Je zag bij proef 1 dat het niet lukte om een balans, met op één arm een bekersglas heet water, in evenwicht te brengen. Oorzaak hiervan is de verdamping van het water. Verdampen treedt op bij elke temperatuur. Naarmate de temperatuur hoger is verloopt de verdamping sneller.

Je begrijpt dat onze veronderstelling over het kookpunt van water in P 3 onjuist was.

In de verklaring hierboven wordt over **waterdamp** en **zuurstofgas** gesproken. Zit er verschil tussen damp en gas? Ja, en dat verschil heeft ondermeer te maken met het **samendrukken** van damp en gas. Wanneer je damp **samendrukt** krijg je vloeistof. Wanneer je gas **samendrukt** krijg je geen vloeistof.

Hoe kun je de verdamping bevorderen?

Je hebt hierboven kunnen lezen dat verdampen sneller gaat naarmate de temperatuur hoger is. Bij het kookpunt vindt verdamping plaats door de gehele vloeistof.

Een tweede manier om de verdamping te bevorderen is de vloeistof over een groot oppervlak uit te schenken. Soep in een bord verdampt sneller dan soep in een fles.

Een derde manier is blazen (denk aan proef 2 van P 3). Je ververst dan de lucht boven de vloeistof.

Een vierde manier is de druk boven de vloeistof verlagen.

In het dagelijks leven maak je regelmatig gebruik van een aantal van deze manieren.

Denk bijvoorbeeld aan blazen bij hete soep. Je bevordert daardoor de verdamping. Voor verdamping is warmte nodig en die warmte onttrek je aan de soep. Die koelt daardoor sneller af.



Verzadigde damp en verzadigingsdruk

Bij proef 3 uit P 3 druppelen we ether in een glazen buis. De ether verdampt en de druk stijgt. Het inspuiten van meer ether betekent meer etherdamp en een nog hogere druk. Op een bepaald moment blijft er ethervloeistof in de reageerbuis staan. De druk neemt niet verder toe bij toevoeging van meer ether. Wanneer we de buis verwarmen met de hand, verdampt er meer ether en de druk stijgt weer.

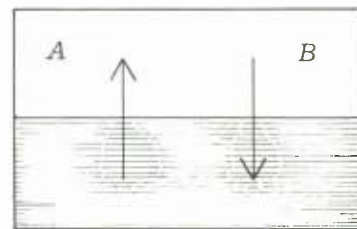
In het begin van de proef noemen we de etherdamp **onverzadigd**. De ingespoten vloeistof verdampt onmiddellijk. Op een bepaald moment is de damp **verzadigd**. Er bevindt zich dan zoveel damp in de afgesloten ruimte dat er door botsingen tussen de „damp” molekulen net zoveel vloeistof verdampt (A in de tekening) als er damp kondenseert (B in de tekening).

Er is een evenwichtssituatie bereikt. Bij het toevoegen van meer vloeistof neemt de druk van de damp niet toe.

De druk van de verzadigde damp heet verzadigingsdruk.

Uit de proef blijkt dat bij een hogere temperatuur de verzadigingsdruk toeneemt. Je kunt daarbij waarnemen dat er meer vloeistof verdampt.

Kennelijk is bij verhoging van de temperatuur de damp even onverzadigd en moet er meer ether verdampen om de damp weer te verzadigen.



Je kunt nu begrijpen waarom bij het verwarmen van water de dampbellen aanvankelijk de oppervlakte niet bereiken.

Onderin de vloeistof is het water het heetst. Daar ontstaan dampbellen. De damp in de bel is natuurlijk verzadigd. De bel stijgt op en komt in koudere vloeistof. De druk in de bel neemt af. De druk op de bel verandert niet. De bel wordt in elkaar gedrukt. Bij koken is de dampdruk in de dampbellen overal voldoende groot om de druk op de bel te weerstaan.

Onder normale omstandigheden is de temperatuur dan 100°C in de gehele vloeistof.

Verklaren van de proef van Franklin

Waarneming:

Nadat het kraantje is dichtgedraaid en de brander is verwijderd, kookt het water niet meer. Wanneer we daarna koud water over de kolf gieten, begint het water weer hevig te koken.

Verklaring:

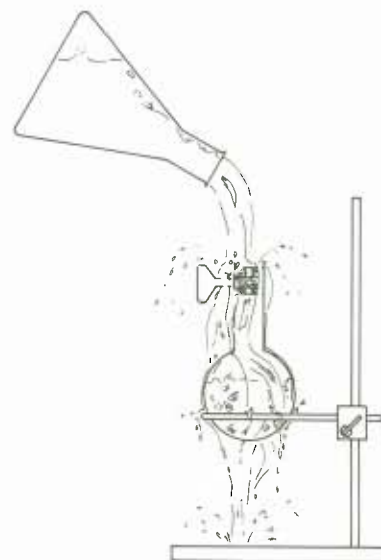
Zodra het kraantje is dichtgedraaid en de brander is verwijderd bevindt zich in de kolf water met daarboven waterdamp. De temperatuur van beide is slechts weinig lager dan 100°C .

Over de kolf gieten we koud water. Hierdoor zal de waterdamp afkoelen en een gedeelte ervan kondenseert. De druk boven de vloeistof wordt daardoor lager. Ondertussen is de temperatuur van het water in de kolf nog maar weinig gedaald.

Je weet dat door drukverlaging een vloeistof bij een lagere temperatuur gaat koken. Ook bij de proef van Franklin is dit het geval.

Door de lagere druk gaat het water koken, ook al is de temperatuur van het water lager dan 100°C .

Wanneer we geen water meer over de kolf gieten, zal het water al snel niet meer koken. Water en waterdamp nemen dan dezelfde temperatuur aan. Bij het opnieuw overgieten met koud water zal de waterdamp verder afkoelen en treedt weer condensatie op. Opnieuw daalt dan de druk boven het water, zodat het water weer gaat koken.



T 4 Warmte en fase-overgangen

I Wat je moet weten uit vorige blokken

In blok 14 heb je kennis gemaakt met een aantal begrippen over warmte. We zetten de begrippen en formules die je daar hebt geleerd nog eens op een rijtje.

Soortelijke warmte

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

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

Het symbool van soortelijke warmte: c.

Warmtecapaciteit

De warmtecapaciteit is de hoeveelheid warmte die nodig is om **een voorwerp** 1 K in temperatuur te doen stijgen.

Deze grootheid gebruik je wanneer het moeilijk is om de soortelijke warmte vast te stellen. Meestal kun je niet eens van een soortelijke warmte spreken. Denk maar aan de joulemeter.

De eenheid van warmtecapaciteit: $\frac{\text{J}}{\text{K}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{K}}$

Het symbool van warmtecapaciteit: k.

Verbrandingswarmte * (alleen voor D-leerlingen)

De **verbrandingswarmte (vbw)** van een stof is de hoeveelheid warmte/energie die vrijkomt bij de verbranding van 1 kg van die stof.

Formule: $Q = \text{vbw} \cdot m \rightarrow \text{vbw} = \frac{Q}{m}$

Eenheid vbw: $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ of $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Voorbeeld: De vbw van steenkool is $16 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$.

Bereken de energie die vrijkomt bij de verbranding van 50 kg steenkool.

Oplossing: $Q = \text{vbw} \cdot m \rightarrow Q = 16 \cdot 10^6 \text{ J/kg} \cdot 50 \text{ kg}$
 $= 80 \cdot 10^7 \text{ J} (= 80 \cdot 10^4 \text{ kJ}; = 800 \text{ MJ})$

Formules

Om uit te rekenen hoeveel warmte er nodig is of vrij komt bij stijging of daling van de temperatuur van een stof of voorwerp, kun je gebruik maken van formules.

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

Je kunt deze formule afleiden uit de omschrijving van soortelijke warmte. Je weet:

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

Om m kg van die stof T K in temperatuur te laten stijgen is dan $m \cdot \Delta T \cdot c$ aan warmte nodig. Dus $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Voorbeeld

Hoeveel warmte is er nodig om 10 kg water 10 K te verwarmen?

De soortelijke warmte van water is $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$.

Dat betekent dat er 4,2 kJ warmte nodig is om 1 kg water 1 K te verwarmen.

Om 10 kg water 1 K te verwarmen is dan $10 \cdot 4,2 \text{ kJ} = 42 \text{ kJ}$ nodig.

Om 10 kg water 10 K te verwarmen is $10 \cdot 42 \text{ kJ} = 420 \text{ kJ}$ nodig.

De formule geeft natuurlijke hetzelfde resultaat.

$$\left. \begin{array}{l} Q = c \cdot m \cdot \Delta T \\ c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ m = 10 \text{ kg} \\ \Delta T = 10 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow Q = 4,2 \cdot 10 \cdot 10 \text{ kJ} = 420 \text{ kJ}$$

$$2. \quad Q = k \cdot \Delta T$$

Om de warmte (Q) te berekenen moet je de warmtecapaciteit (aantal J nodig voor 1 K temperatuurstijging) vermenigvuldigen met de temperatuurstijging (of -daling).

Voorbeeld

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

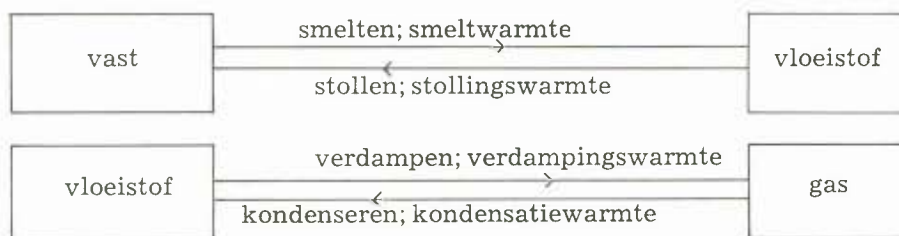
Hoeveel warmte komt er vrij als de temperatuur van de joulemeter 10 K daalt?

Bij een daling van 1 K komt er 200 J vrij. Bij een daling van 10 K komt er $10 \cdot 200 \text{ J} = 2000 \text{ J}$ vrij.

II Warmte bij fase-overgangen

In P 4 heb je gezien dat voor smelten, stollen en verdampen warmte nodig is. Als een stof van vast naar vloeistof gaat is er smeltwarmte. Afhankelijk van de fase-overgang spreken we dan van smeltwarmte, stollingswarmte, verdampingswarmte en condensatiewarmte.

In het schema hieronder staat een overzicht van deze overgangen:



Wanneer een blokje ijs van 0°C water van 0°C wordt, dan is daar warmte voor nodig. Wanneer het water van 0°C weer ijs wordt van 0°C dan komt die warmte weer vrij.

Er kan immers niet zo maar warmte verdwijnen!

Dus: de verdampingswarmte = de condensatiewarmte.
de smeltwarmte = de stollingswarmte.

We moeten wat preciezer afspreken wat we met de termen die hierboven staan bedoelen.

Een stuk metaal van 10.000 kg heeft immers meer warmte nodig om te smelten dan een stukje van 1 g. Daarom spreken we af:

De **smeltwarmte** van een stof is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg van die stof te laten smelten.

Eenheid: $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ of $\frac{\text{J}}{\text{g}}$

Symbool: smw

Wanneer je moet berekenen hoeveel warmte er vrijkomt bij stollen of hoeveel er nodig is voor smelten maak je gebruik van:

$$Q = \text{smw} \cdot m.$$

Je vermenigvuldigt dan de hoeveelheid warmte nodig per kilogram (smw) met het aantal kilogrammen (m)

De **verdampingswarmte** van een stof is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg van die stof te laten verdampen.

Eenheid: $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ of $\frac{\text{J}}{\text{g}}$

Symbol: vw

Wanneer je moet berekenen hoeveel warmte er vrijkomt bij kondenseren of nodig is voor verdampen maak je gebruik van:

$$Q = vw \cdot m.$$

In W 4 moet je zelf de definities van stollingswarmte en van condensatiewarmte geven.

In de tabel op pagina 1 van dit blok vind je gegevens over smelten, verwarmen en verdampen van veel stoffen.

Tenslotte vatten we de belangrijkste grootheden uit dit blok en blok 14 samen in de tabel op de volgende bladzijde.

Rendement

Behalve dat van warmte-ontwikkeling nuttig gebruik kan worden gemaakt, betekent warmte-ontwikkeling in vele gevallen verlies van energie. Bv. een groot gedeelte van de energie die vrijkomt bij de verbranding van steenkool zal helaas niet nuttig worden gebruikt. Deze gaat verloren bij energie-omzettingen waarbij warmte-ontwikkeling/wrijving optreedt en verdwijnt voor een groot deel met de warme rook uit de schoorsteen.

Denk ook aan een gloeilamp: je wilt dat deze licht geeft, maar een deel van de energie die erin gestopt wordt gaat verloren aan warmte-ontwikkeling.

Of denk eens aan een automotor: je wilt dat deze alle energie geeft om je te bewegen, maar een deel gaat nutteloos verloren aan warmte-ontwikkeling (je moet zelfs extra koelen).

Vandaar dat we bij energie-omzettingen geïnteresseerd zijn in het **rendement**: hoeveel van de energie of het vermogen, die we in het apparaat stoppen, komt er daadwerkelijk in de nuttige vorm uit.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Energie}_{\text{afgegaan}}}{\text{Energie}_{\text{opgenomen}}} \times 100 \rightarrow n = \frac{E_{\text{af}}}{E_{\text{op}}} \times 100$$

of

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Vermogen}_{\text{afgegaan}}}{\text{Vermogen}_{\text{opgenomen}}} \times 100 \rightarrow n = \frac{P_{\text{af}}}{P_{\text{op}}} \times 100$$

Je krijgt nu het antwoord in %.

Rekenvoorbeelden:

1

Hoe groot is het rendement van een gloeilamp van 75 W als de lichtopbrengst 10 W is?

$$\text{Oplossing: } n = \frac{P_{\text{af}}}{P_{\text{op}}} \times 100 \rightarrow n = \frac{10 \text{ W}}{75 \text{ W}} \times 100 \rightarrow n = 13\%$$

2

Bereken het rendement van een elektrische centrale met een maximaal vermogen van 2600 MW als daarvoor een vermogen van 4000 MW nodig is.

$$\text{Oplossing: } n = \frac{P_{\text{af}}}{P_{\text{op}}} \times 100 \rightarrow n = \frac{2600 \text{ MW}}{4000 \text{ MW}} \times 100 \rightarrow n = 65\%$$

3

Het rendement van een benzinemotor is ongeveer 45%. Bereken hoeveel energie de benzine moet leveren om een ritje te kunnen maken, dat 150 kJ kost.

$$\text{Oplossing: Rendement } n = 45\% \rightarrow n = 0,45$$

$$n = \frac{E_{\text{af}}}{E_{\text{op}}} \times 100 \rightarrow 0,45 = \frac{150 \text{ kJ}}{E_{\text{op}}} \rightarrow E_{\text{op}} = \frac{150 \text{ kJ}}{0,45}$$

$$E_{\text{op}} = 333,3 \text{ kJ (afgerond 333 kJ)}$$



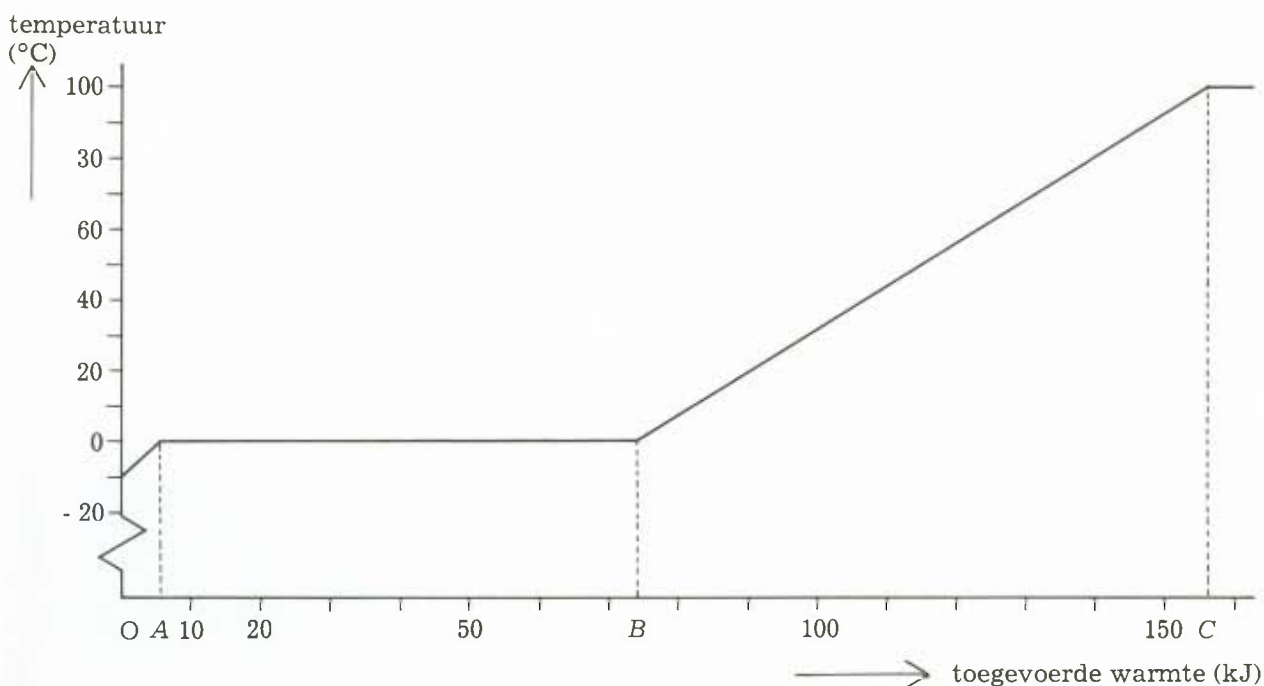
begrip	symbool	eenheid	formule
soortelijke warmte	c	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ of $\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
smeltwarmte	smw	$\frac{\text{J}}{\text{g}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$Q = \text{smw} \cdot m$
verdampingswarmte	vw	$\frac{\text{J}}{\text{g}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$Q = \text{vw} \cdot m$
warmtecapaciteit	k	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{K}}$	$Q = k \cdot \Delta T$
verbrandingswarmte	vbw	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ of $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$Q = \text{vbw} \cdot m$

Met de formules kun je sommen oplossen over verwarmen van stoffen. Daarbij maak je ook gebruik van de wet van behoud van energie. In blok 14 hebben we deze wet geschreven als:
opgenomen warmte = afgestane warmte.

III. Voorbeelden

Voorbeeld 1

Een blok ijs van 200 gram en een temperatuur van -10°C wordt verwarmd. Tijdens het verwarmen wordt voortdurend de temperatuur afgelezen en de hoeveelheid toegevoerde warmte gemeten. De resultaten zijn verwerkt in het volgende diagram.



Bereken de soortelijke warmte van ijs en water en de smeltwarmte van ijs.

Berekening

De soortelijke warmte van ijs

Kijk je naar het stuk OA in de grafiek dan zie je dat er 5 kJ nodig is om het ijs 10 K te verwarmen.

De massa van ijs is 0,2 kg.

We maken gebruik van: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ (we moeten immers c berekenen)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Je weet: } Q = 5 \text{ kJ} \\ m = 0,2 \text{ kg} \\ \Delta T = 10 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} 5 = c \cdot 0,2 \cdot 10 \Leftrightarrow 5 = 2c \\ \text{Dus } c = 2,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array}$$

De soortelijke warmte van water.

Uit het stuk BC blijkt dat om 200 g water 100 K in temperatuur te doen stijgen er 80 kJ nodig is.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Dus: } Q = 80 \text{ kJ} \\ m = 0,2 \text{ kg} \\ \Delta T = 100 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow Q = c \cdot m \cdot \Delta T \Leftrightarrow 80 = c \cdot 0,2 \cdot 100 \Leftrightarrow 80 = 20 c$$

$$\text{Dus: } c = 4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

De smeltwarmte van ijs.

Uit het stuk AB van het diagram blijkt dat er 70 kJ nodig is om 0,2 kg ijs te laten smelten.

$$\left. \begin{array}{l} Q = 70 \text{ kJ} \\ m = 0,2 \text{ kg} \end{array} \right\} \Rightarrow Q = \text{smw} \cdot m \Leftrightarrow 70 = \text{smw} \cdot 0,2$$
$$\text{Dus smw} = \frac{70 \text{ kJ}}{0,2 \text{ kg}} = 350 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Voorbeeld 2

In een joulemeter bevindt zich 100 g ijs van 0°C en 140 g water van 0°C. De warmtecapaciteit van de joulemeter is $200 \frac{\text{J}}{\text{K}}$.

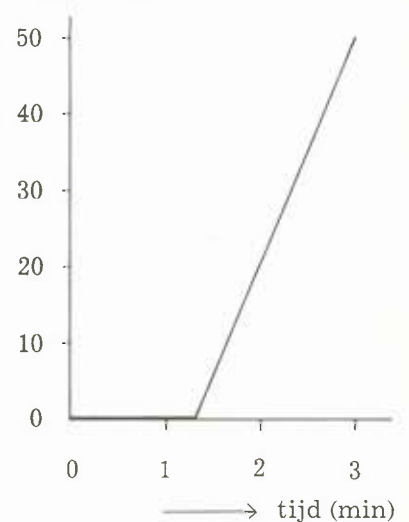
Het ijs en water wordt in 3 minuten opgewarmd met een dompelaar tot 40°C. Schets in een grafiek het verband tussen het temperatuurverloop en de tijd. Bereken met de gegevens het vermogen van de dompelaar.

De grafiek

In de eerste seconden zal het ijs smelten. De toegevoerde warmte zal daarvoor nodig zijn. Wanneer het ijs gesmolten is, loopt de temperatuur regelmatig op. Voor elke graad temperatuurstijging is evenveel warmte nodig.

Hiernaast is het verband tussen temperatuur en tijd weergegeven. Denk erom: het is een schets!

temp. (°C).



Het vermogen van de dompelaar.

Het vermogen van de dompelaar is de geleverde energie per seconde.

$$\text{In formule: } P = \frac{E}{t}$$

De geleverde energie is in dit geval de warmte die de dompelaar aan ijs, water en joulemeter heeft afgegeven.

Om P te berekenen moeten we dus $E = Q_{\text{afgegeven}}$ en t kennen.

$Q_{\text{afgegeven}}$ kun je berekenen door na te gaan hoeveel warmte ijs, water en joulemeter hebben opgenomen.

a. ijs (voor het smelten)

$$\left. \begin{array}{l} Q_1 = \text{smw} \cdot m \\ \text{smw} = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ m = 0,100 \text{ kg} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_1 = 334 \cdot 0,100 \text{ kJ}$$
$$\text{Dus } Q_1 = 33,4 \text{ kJ}$$

b. water

$$Q_2 = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m = 0,240 \text{ kg (gesmolten ijs en water)}$$

$$\Delta T = 40 \text{ K}$$

$$\text{Dus: } Q_2 = 4,2 \cdot 0,240 \cdot 40 \text{ kJ} = 40,3 \text{ kJ}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{c. Joulemeter} \\ Q_3 = k \cdot \Delta T \\ k = 200 \frac{\text{J}}{\text{K}} \\ \Delta T = 40 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_3 = 200 \cdot 40 \text{ J} = 8000 \text{ J}$$

$$\text{Dus: } Q_3 = 8 \text{ kJ}$$

Opgenomen warmte: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 33,4 + 40,3 + 8 \text{ kJ} = 81,7 \text{ kJ}$
 Door de pompelaar is 81,7 kJ warmte afgestaan.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Dus: } P = \frac{E}{t} \\ E = 81,7 \text{ kJ} \\ t = 180 \text{ s} \end{array} \right\} \Rightarrow P = \frac{81,7 \text{ kJ}}{180 \text{ s}} \Rightarrow P = 0,51 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 510 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Dus: $P = 510 \text{ W}$.

T 5 Bimetaal, temperatuurregeling, gasblok, thermostaat

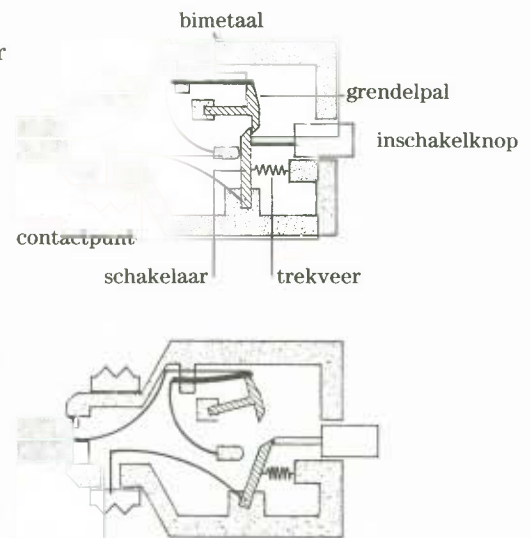
Bimetaal

Een **bimetaal** bestaat uit, de naam zegt het al, **2 verschillende** op elkaar geplakte **metalen** strips. De werking van een bimetaal berust op het verschil in uitzetting van die twee metalen: bij temperatuurstijging zet het ene metaal meer uit dan het andere, waardoor het bimetaal kromtrekt.

Toepassingen van bimetalen vinden we dan ook in apparaten die moeten reageren op temperatuurverandering, bv.

- **bimetaalzekering:** de stroom loopt in de zekering door het bimetaal. Als de stroomsterkte groter wordt, trekt het bimetaal steeds verder krom (het wordt steeds warmer), totdat de maximale stroomsterkte wordt overschreden en de vergrendeling van de zekering openschiet: de zekering schakelt de stroom uit.
- **verwarmingsthermostaat:** een opgerold bimetaal trekt afhankelijk van de temperatuur meer of minder krom. Op het uiteinde van het bimetaal is een kwikschakelaar (een glazen buisje met daarin een kwikdruppel) gemonteerd, die zorgt voor het in- en uitschakelen van de CV-installatie. De **temperatuurregeling** gaat als volgt: bij lagere temperatuur dan gewenst sluit de kwikschakelaar de stroomkring met de elektromagneet in het **gasblok**. De elektromagneet trekt daardoor de gasklep open en de waakvlam zorgt voor ontsteking van de brander in de CV-ketel. Hierdoor stijgt de temperatuur in de kamer, waardoor het bimetaal kromtrekt, totdat bij de ingestelde temperatuur de kwikschakelaar de stroomkring met het gasblok onderbreekt en de gasklep dichtvalt.

De verwarmingsthermostaat verzorgt op deze manier de temperatuurregeling in de kamer waar hij hangt.



Zie ook blok 22, T 3 en W 0.



W 1 De fase van een stof

1

In welke fase verkeren de volgende stoffen bij kamertemperatuur?
lucht, kwik, ijzer, hout, benzine, butaan, papier, diamant.

2

Gebruik de tabel op pagina 1 van dit blok om na te gaan of de volgende stoffen bij kamertemperatuur vast of vloeibaar zijn. Motiveer je antwoord.
aluminium, alcohol, ether, goud, lood, freon-12.

3

Welke fase-overgang vindt plaats als:

- Het kaarsvet boven op een kaars vloeibaar wordt?
- Het vet in een braadpan na het afkoelen hard wordt?
- Het soldeertin vloeibaar wordt na aanraken met een hete soldeerbout?
- Vast jodium na verwarming gasvormig wordt?
- Een regenplas opdroogt?
- Sneeuw wegvriest?

4

Bij welke fase-overgangen uit opgave 3 komt warmte vrij?

5

Bij het verwarmen van een hoeveelheid water neemt de massa enigszins af. Verklaar dit.

6

Waarom is zweten een middel om ervoor te zorgen dat je lichaamstemperatuur niet oploopt?

W 2 Het molekuulmodel

1

Bij proef 3a en b nam je waar:

- vloeistoffen vertonen diffusie
- bij het mengen van water en spiritus is het totale volume kleiner dan de som van de oorspronkelijke volumes.

Verklaar deze waarnemingen met behulp van het molekuulmodel.

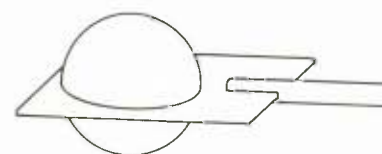
2

- In plaats van „een stof in de gasvormige fase” wordt vaak gezegd „een gas”. Waarom is de eerste benaming eigenlijk beter?
- Welke namen worden vaak gebruikt voor „een stof in de vloeibare fase” en voor „een stof in de vaste fase”?

3

In blok 1 heb je de proef van 's-Gravensande al eens uitgevoerd. Daarbij neem je een metalen bol en een ring waar de bol juist doorheen kan.

Na verhitting blijkt de bol niet meer door de ring te kunnen. Als echter de hete bol op de ring wordt gelegd, valt hij na enige tijd er wél door. Probeer deze proef te verklaren met behulp van het molekuulmodel.



proef van 's Gravesande

4

Bij het schrijven op een bord blijft een dun krijtlaagje achter. Probeer dit met het molekuulmodel te verklaren.

5

Wanneer een kraan een beetje open staat, komen er druppels uit. Kennelijk vormen de watermolekulen eerst druppels voor ze naar beneden vallen.

Met welke eigenschap van molekulen kun je verklaren dat er druppels gevormd worden?

6

Verklaar met kohesie het bestaan van een zeepbel.

7

In blok 4 is de dichtheid van een stof behandeld: dichtheid is massa gedeeld door volume.

Verklaar daarmee en met het molekuulmodel waarom elke vaste stof zinkt in zijn eigen vloeistof (water is een uitzondering).

8

Een hoeveelheid water heeft een massa van 100 g en een temperatuur van 10°C. Dit water wordt afgekoeld tot 0°C. Na elke graad temperatuurdaling wordt het volume van het water gemeten. Het resultaat is in het diagram weergegeven. De verdamping van het water is te verwaarlozen.

- Met behulp van de grafiek valt af te leiden dat de volumeverandering van water bij afkoeling van 4°C tot 0°C anders verloopt dan bij de meeste stoffen. Licht dit toe.
- Schets hieronder hoe de dichtheid afhangt van de temperatuur. Niet rekenen.

dichtheid



0

1

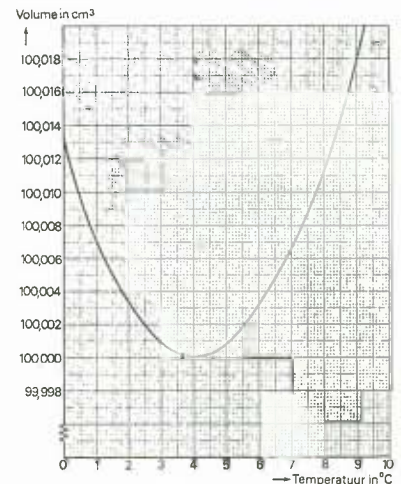
2

3

4

5

temp. (°C)



- Verklaar waarom ijs op water drijft.

- Onderin diepe zeeën bedraagt de temperatuur van het water 4°C. Verklaar dat.

W 3 Koken en verdampen

1

- Waarom helpt blazen om je soep af te koelen?
- Waarom helpt roeren om je thee af te koelen?
- Waarom moet je natte was niet te dicht op elkaar hangen om haar te laten drogen?

2

- Waarom kookt water hoog in de bergen bij lagere temperaturen?
- Is het eten daarom eerder gaar?
- Een hogedrukpan is een pan die je luchtdicht kunt afsluiten. Kookt het water in zo'n pan eerder, dat wil zeggen bij een lage temperatuur? Wat is het nut van zo'n pan?

3

In een gasaansteker bevindt zich een hoeveelheid vloeistof met daarboven een hoeveelheid damp.
Is de damp verzadigd? Hoe weet je dat?

4

Bij uitvoering van de proef van Franklin wordt soms een kolf met een kurk gebruikt in plaats van een kolf met een kraantje. Na uitvoering van de proef is het dan vaak lastig om de kurk van de kolf te verwijderen. Verklaar dit.

5

De relatieve vochtigheid is de verhouding tussen de heersende vochtigheid en de grootste vochtigheid die mogelijk is (bij een bepaalde temperatuur).

De verhouding wordt uitgedrukt in procenten.

a. Wat betekent een relatieve vochtigheid van 0%?

En van 100%?

b. Als de relatieve vochtigheid kleiner is dan 100% is de waterdamp in de lucht onverzadigd.

Waarom?

W 4 Warmte en fase-overgangen

1

Leg met behulp van het molekuulmodel uit dat smelten warmte kost.

2

Geef een definitie van stollingswarmte en van condensatiewarmte.

3

Beschrijf een proef waarmee je de verdampingswarmte van water bepaalt.

4

Hiernaast staat een schema van een koelkast getekend:

In buizenstelsel A verdampt vloeibare freon tot freondamp. De kompressor pompt freon naar buizenstelsel B. In buizenstelsel B kondenseert de freondamp weer.

a. In welk van de buizenstelsels is warmte nodig?

Waar komt deze warmte vandaan?

b. In welk van de buizenstelsels komt warmte vrij?

Waar blijft deze warmte?

5

In deze opgave ga je bepalen hoeveel warmte er nodig is om 75 g ijs van 0°C te smelten.

a. Hoeveel $\frac{\text{J}}{\text{g}}$ is de smeltwarmte van ijs en wat betekent dat?

b. Hoeveel warmte is er nodig om 1 g ijs van 0°C te smelten?

c. Hoeveel warmte is er nodig om 75 g ijs van 0°C te smelten?

6

In dit vraagstuk bereken je hoeveel warmte er nodig is om 150 g water van 293 K te verwarmen tot 323 K.

a. Is er tussen 293 K en 323 K sprake van een fase-overgang?

Waarom is het belangrijk dat je dit nagaat?

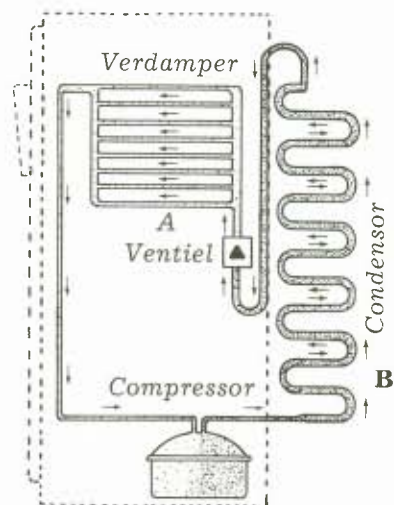
b. Hoe groot is de soortelijke warmte van water?

c. Hoeveel warmte is er nodig om 1 g water 1 K in temperatuur te laten stijgen?

Hoeveel warmte is er nodig om 150 g water 1 K in temperatuur te laten stijgen?

Hoeveel warmte is er nodig om 150 g water 30 K in temperatuur te laten stijgen?

Koelkast



7

Hoeveel warmte is er nodig om 200 g alcohol te laten verdampen?
(Los dit vraagstuk op op de manier van 5.)

8

Vloeibaar ijzer koelt af en stolt.
Hoeveel warmte komt er vrij als 10.000 kg ijzer stolt?

9

In dit vraagstuk bepaal je hoeveel warmte er nodig is om 100 g ijs van 243 K te verwarmen tot water van 323 K.

- Is er tussen 243 K en 323 K sprake van een fase-overgang. Bij welke temperatuur smelt het ijs?
- Hoeveel warmte is er nodig om ijs te verwarmen tot het smeltpunt?
- Hoeveel warmte is er nodig om het ijs te smelten?
- Hoeveel warmte is er nodig om het smeltwater verder te verwarmen?
- Hoeveel warmte is er nodig om 100 g ijs van 243 K te verwarmen tot 323 K?

10

Een schaal heeft een warmtecapaciteit van $2,0 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$.

In de schaal bevindt zich 2,0 kg water van 303 K.

In de schaal met water wordt 100 g ijs van 273 K gedompeld.

De schaal met water koelt af en het ijs smelt.

Bereken de eindtemperatuur van het geheel.

(Stel de eindtemperatuur op x K).

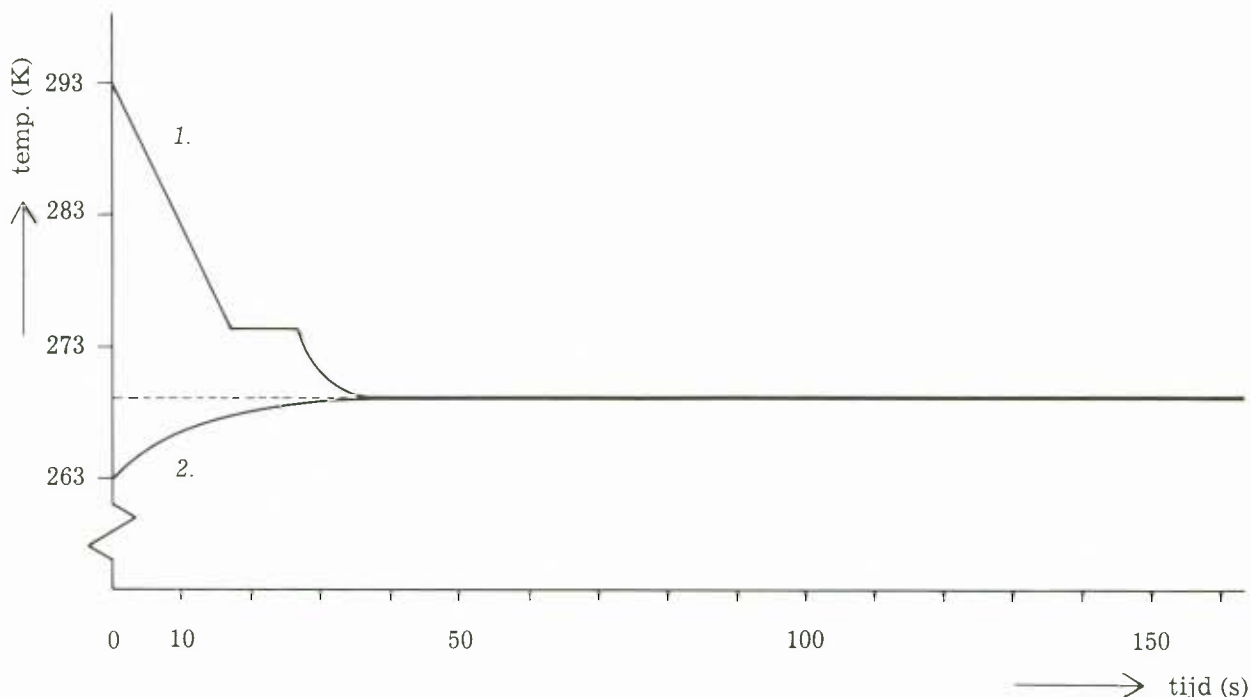
Zoek in de tabel op blz. 4 de nodige gegevens op.

11

Iemand heeft een bakje met water en een brok ijs van 50 g. De

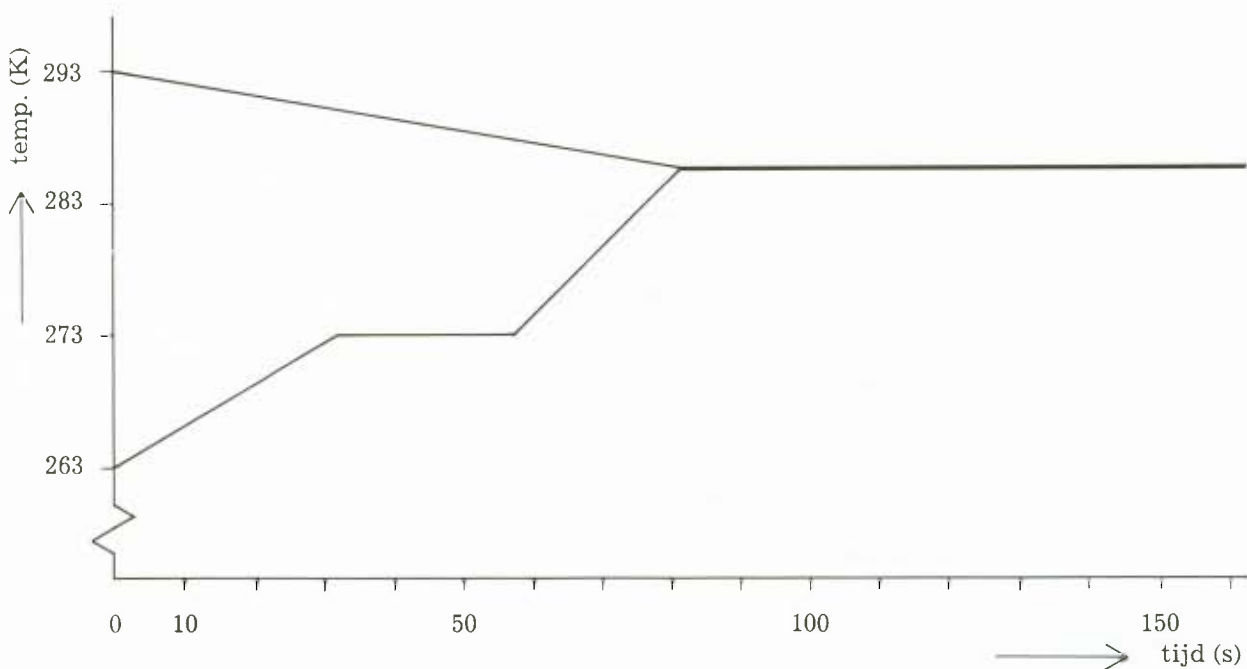
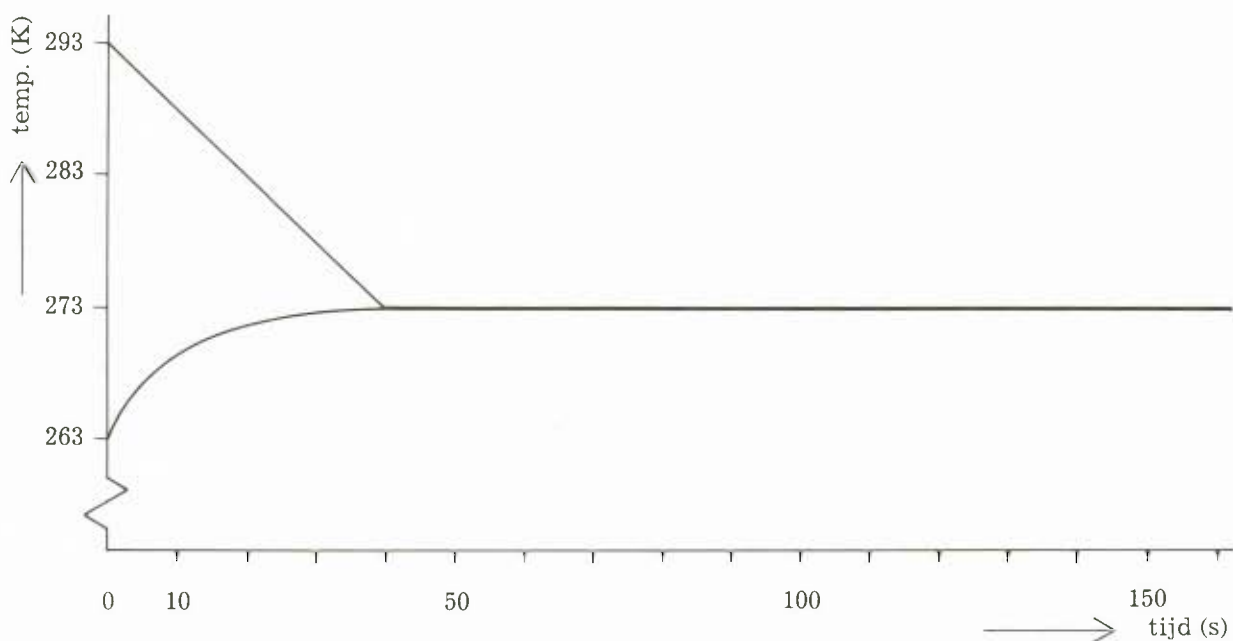
temperatuur van het water is 293 K. Die van het ijs is 263 K.

Hij doet het ijs in het bakje met water. In het volgende diagram staat de temperatuur van het water en de temperatuur van het ijs uitgezet tegen de tijd. Grafiek 1: water; grafiek 2: ijs.



- Is na afloop de hoeveelheid ijs groter dan, gelijk aan of kleiner dan 50 g?
Motiveer je antwoord.

Wanneer we beginnen met andere hoeveelheden water in het bakje, ontstaan andere diagrammen. Twee daarvan zijn hieronder getekend.



- b. In welk geval is de oorspronkelijke hoeveelheid water in het bakje het grootst? Motiveer je antwoord.
c. Beantwoord vraag a ook voor de twee laatste diagrammen.

11

In voorbeeld 1 van T 4 is de soortelijke warmte van water

berekend: $5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Vergelijk deze waarde met die uit de tabel op blz. 4.

Geef een mogelijke verklaring voor het verschil.

H 1 Model van een stof

Modellen worden veel gebruikt. Drie voorbeelden:

- een model van een huis (een plattegrond);
- een model van een vliegtuig;
- een model van een strijdwijze, tactiek bij voetbal (bijv. 4-2-4-opstelling).

Soms wordt het model gebruikt om toeschouwers een indruk te geven van hoe het er in werkelijkheid uit gaat zien (model van een huis). Het kan ook zijn dat een model nodig is om te onderzoeken hoe het apparaat in werkelijkheid zou werken.

(Een vliegtuigmodel wordt getest in een windtunnel om na te gaan of het ontwerp goed is). Een gevolg van het testen kan zijn dat er een geheel ander model ontworpen moet worden.

In de natuurkunde (maar ook in andere vakken) speelt het model een belangrijke rol. Dit herhaalblad gaat over het model van een stof. Je zult zien dat we met het model verschijnselen en proeven kunnen verklaren, dat we beter begrijpen hoe het er in werkelijkheid uitziet en dat ons model te kort schiet (er zou dus een nieuw model gebouwd moeten worden).

Om een model te bouwen van een stof heb je bouwstenen nodig. De bouwstenen voor stoffen noemen we molekulen. Per stof kunnen de bouwstenen verschillen, maar ze bezitten wel allemaal de volgende eigenschappen:

1. De molekulen hebben massa.
2. Tussen de molekulen zit ruimte.
3. De molekulen bewegen.
4. Hoe sneller de molekulen bewegen, des te hoger is de temperatuur van de stof.
5. Op korte afstand trekken de molekulen elkaar aan.

Je zult je misschien afvragen hoe kom je nu aan de eigenschappen van de bouwstenen? Zien kun je ze immers niet. Je hebt gelijk wanneer je zegt: „Natuurkundigen hebben, gesteund door veel onderzoek, aangenomen dat de molekulen deze eigenschappen moeten hebben. **Het is dus een aanname of hypothese.**

Met deze bouwstenen gaan we het model van een stof bouwen. We behandelen daarbij apart de vaste, vloeibare en gasvormige fase.

Vaste fase van een stof

1. De molekulen zijn regelmatig gerangschikt in een rooster.
2. De molekulen trillen in het rooster.
3. De afstand tussen de molekulen is klein.

Vloeibare fase van een stof

1. De molekulen bewegen langs elkaar.
2. De afstand tussen de molekulen is klein.

Gasvormige fase van een stof

1. De molekulen bewegen vrij langs elkaar.
2. Er bevindt zich veel ruimte tussen de molekulen.
3. De molekulen botsen tegen elkaar en tegen de randen.

Bij dit model hebben we aangenomen dat de bouwstenen niet veranderen bij overgang van de ene fase naar de andere. Met dit model kunnen we verschijnselen verklaren.

Voorbeeld:

We begrijpen nu waarom een vaste stof uitzet bij verhitting.

Verklaring:

Bij verhitting stijgt de temperatuur van de vaste stof. De molekulen gaan sneller op hun plaats trillen. Voor die snellere beweging is meer ruimte nodig. De stof zet uit.

Voorbeeld:

Als je een vloeistof morst ontstaan druppels.

Verklaring:

Molekullen trekken elkaar op korte afstand aan (eigenschap 5). In de vloeibare fase zitten de molekullen erg dicht bij elkaar. Ze trekken elkaar aan en vormen druppels.

Voorbeeld:

Als je de aardgaskraan open zet, ruik je na enige tijd in de gehele ruimte gas.

Verklaring:

Tussen de aardgasmolekullen en de luchtmolekullen zit veel ruimte. De molekullen kunnen door elkaar bewegen. Doordat de molekullen snelheid hebben, verspreiden ze zich tenslotte over de gehele ruimte.

Vragen

1

Mag je in het laatste voorbeeld wel spreken van luchtmolekullen?

Verklaar de verschijnselen van vraag 2 tot en met 5 met het model:

2

Een stof in de vloeibare fase is nauwelijks samen te drukken.

Verklaring:

3

Er is veel warmte nodig om een stof van de vloeibare fase naar de gasvormige fase te laten gaan.

Verklaring:

4

Als je de kolf hiernaast in een bak met kokend water zet, dan gaat de kolf spuiten.

Verklaring:

5

Een vaste stof zinkt in zijn vloeistof.

Verklaring:

Je moet je wel bedenken bij het werken met modellen dat het altijd een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid is.

In veel gevallen is het model te eenvoudig.

Probeer de volgende eigenschappen maar eens te verklaren.

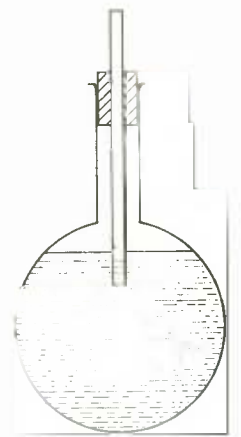
6

Koper heeft een andere kleur dan ijzer.

7

IJzer is „harder” dan potloodstift.

Met ons model kun je dit niet begrijpen. Je zult gebaseerd op nauwkeurige proeven je model moeten uitbreiden of geheel veranderen.



H 2 Fase-overgangen en koken

Dit herhaalblad bestaat uit twee delen. Het eerste gedeelte gaat over fase-overgangen. Het tweede deel gaat over koken en damp.

Fase-overgangen

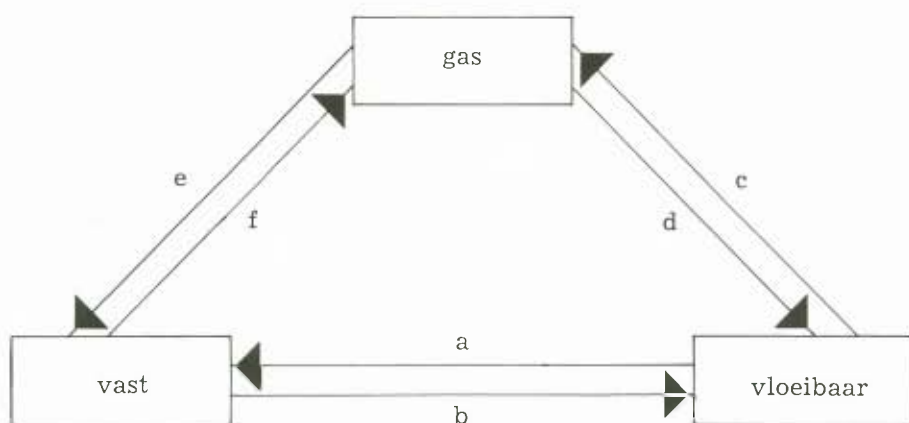
Stoffen kunnen in drie fasen voorkomen:

- vaste fase, ook wel vaste stof genoemd.
- vloeibare fase of vloeistof
- gasvormige fase of gas.

Wanneer een stof van fase verandert, spreek je van een fase-overgang.

1

Vul bij elke pijl de naam van de bijbehorende fase-overgang in.



2

Geef van elke fase-overgang een voorbeeld.

- a.
- b.
- c.
- d.
- e.
- f.

3

Voor een verandering van fase is warmte nodig of er komt juist warmte bij vrij. In de tabel hieronder vul je de naam van de fase-overgang in. Onder de derde kolom vul je in hoe de „soort” warmte heet die er voor nodig is.

a. gas wordt vloeistof	kondenseren	kondensatie-warmte
b. vloeistof wordt gas	.....	.....
c. vloeistof wordt vaste stof	.....	.....
d. vaste stof wordt vloeistof	.....	.....

4

Geef aan wat er bedoeld wordt met de begrippen in de laatste kolom van de vorige tabel.

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

Koken

Aan de hand van een aantal tekeningen ga je nog eens kijken en verklaren wat er gebeurt bij het koken van water.

De vragen hebben betrekking op de tekeningen die er naast staan. Op de thermometer kun je de temperatuur aflezen.

5

In situatie a zie je kleine belletjes; in situatie b niet.

Verklaring:

.....

6

Onderin de vloeistof zie je bellen ontstaan. Ze verdwijnen hoger in de vloeistof weer.

Waaruit bestaan de bellen?

Waarom verdwijnen ze?

.....

.....

7

In de tekening zie je overal in de vloeistof bellen die het oppervlak bereiken. De vloeistof kookt. Wat is koken?

.....

.....

8

Schrijf op wat verzadigde damp en verzadigingsdruk is.

Verzadigde damp is

.....

Verzadigingsdruk is

.....

9

Hiernaast zie je een afgesloten bak met water. De bak met inhoud wordt op 100°C gehouden.

Verdampt alle vloeistof?

.....

Wat kun je doen om meer vloeistof te laten verdampen?

.....

.....

10

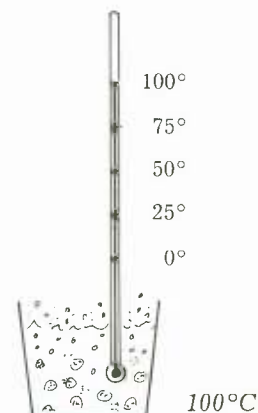
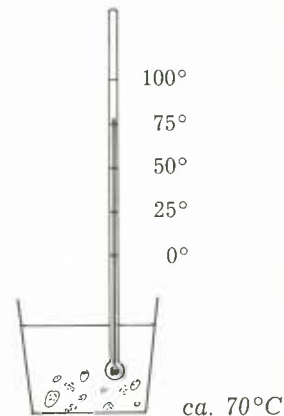
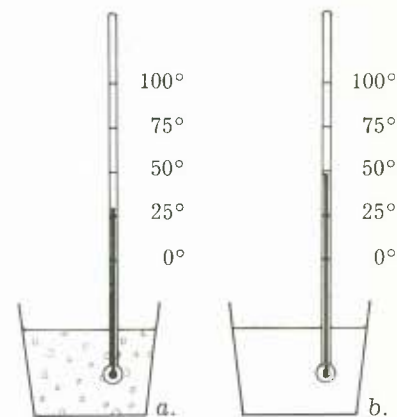
Wat is een onverzadigde damp?

.....

.....

Is de druk van een onverzadigde damp groter of kleiner dan de verzadigingsdruk?

.....



H 3 Sommen over verwarmen en fase-overgangen

In dit herhaalblad gaan we verder oefenen met sommen. Voordat je eraan begint is het nodig dat je nagaat of je de begrippen die erbij horen voldoende kent.

Hieronder staan die begrippen.

Vul achter elk begrip in wat het betekent.

smelten	:	.....
	
stollen	:	.....
	
verdampen	:	.....
	
kondenseren	:	.....
	
smeltwarmte	:	.....
	
stollingswarmte	:	.....
	
verdampingswarmte	:	.....
	
kondensatiewarmte	:	.....
	
soortelijke warmte	:	.....
	
warmte-kapaciteit	:	.....
	

Wanneer je veel fouten gemaakt hebt, zoek dan een en ander terug in het blok of lees van H 2 het eerste deel door.

In T 4 staat een overzicht van de grootheden, symbolen, eenheden en formules. Hieronder staat dat overzicht nog een keer.

grootheid	symbool	eenheid	formule
soortelijke warmte	c	$\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
smeltwarmte	smw	$\frac{\text{J}}{\text{g}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$Q = \text{smw} \cdot m$
verdampingswarmte	vw	$\frac{\text{J}}{\text{g}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$Q = \text{vw} \cdot m$
warmtekapaciteit	k	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{K}}$	$Q = k \cdot \Delta T$

Deze formules en de wet van behoud van energie moet je gebruiken om sommen op te lossen.

Je moet dan wel weten wanneer je welke formule mag gebruiken en welke eenheid je nodig hebt.

Welke formule/regel mag je gebruiken?

Voor de keuze van een formule moet je nagaan over welke situatie de som gaat. Je kunt dan 3 gevallen onderscheiden:

1. Er is geen sprake van een fase-overgang

Je maakt dan gebruik van: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ en $Q = k \cdot \Delta T$.

- Gaat het over een **stof** die wordt verwarmd dan gebruik je meestal $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
- Gaat het om een **voorwerp** dat verwarmd wordt dan gebruik je $Q = k \cdot \Delta T$

2. Er is alleen sprake van een fase-overgang

In dit geval gebruik je: $Q = smw \cdot m$. of $Q = vw \cdot m$.

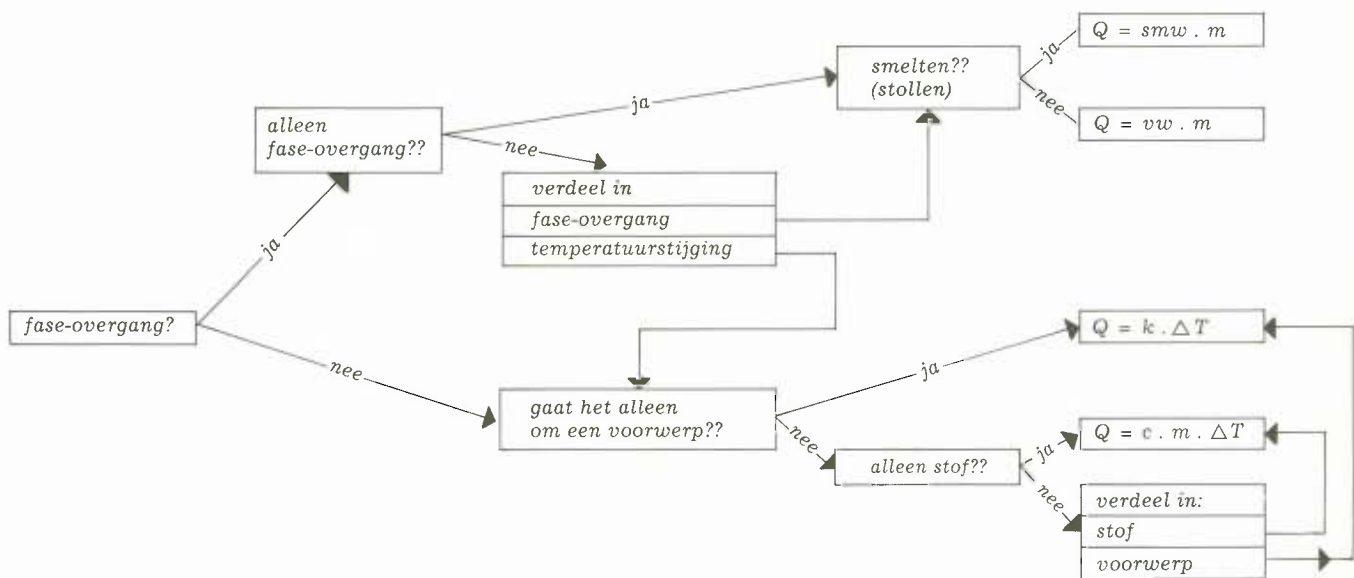
Je gaat eerst na over welke fase-overgang het gaat, vervolgens kies je een formule.

3. Er is sprake van een fase-overgang en temperatuurstijging (daling) van de stof

Je hebt dan alle formules nodig. Dergelijke problemen verdeel je in: fase-overgang en temperatuurstijging. Voor het deel „fase-overgang” maak je gebruik van de formules onder 2.

Voor de temperatuurstijging gebruik je de formules onder 1.

Het schema hieronder kun je gebruiken om de juiste formule te vinden.



Eenheden

Uit het overzicht blijkt dat een grootte in verschillende eenheden gegeven kan zijn. De soortelijke warmte is bijvoorbeeld in

$\frac{\text{J}}{\text{g.K}}$ of $\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$ gegeven.

Welke eenheid moet je nu kiezen?

Dat verschilt van situatie tot situatie. Een vuistregel is: kies de eenheden zo dat ze (in de formule) bij elkaar passen.

Voorbeeld:

1. c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$ dan m in kg en Q in kJ .

2. Q in J en m in g dan c in $\frac{\text{J}}{\text{g.K}}$.

Hieronder volgen twee voorbeelden. Je ziet dan meteen hoe je het schema kunt gebruiken.

1

500 g koper van 500°C wordt in water gedompeld. De eindtemperatuur van water en koper is 75°C. Hoeveel warmte neemt het water op?

Gegeven:

$m_{\text{koper}} = 500 \text{ g}$

$T_{\text{begin, koper}} = 500^\circ\text{C}$

$T_{\text{eind}} = 75^\circ\text{C}$

Gevraagd: $Q_{\text{opgenomen}}$ **Oplossing:**

Formules/regels

1. Je gebruikt $Q_{\text{opgenomen}} = Q_{\text{afgegaan}}$. We kunnen Q_{afgegaan} (door koper) berekenen (daarover gaan tenminste de gegevens).
2. We gebruiken het schema om de juiste formule te vinden.
 Bij 500°C en bij 75°C is koper in de vaste fase \Rightarrow **geen fase-overgang**
 Het gaat alleen over de **stof** koper die warmte afgeeft $\Rightarrow Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Uitwerking:

$$c = 0,39 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m = 500 \text{ g}$$

$$\Delta T = 425^{\circ}\text{C}$$

Kiezen van eenheden:

$$c \text{ in } \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \Rightarrow m = 0,500 \text{ kg en } \Delta T = 425 \text{ K}$$

Invullen in $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$:

$$Q = 0,39 \cdot 0,500 \cdot 425 \Rightarrow Q = 83 \text{ kJ (afgerond)}$$

Het water neemt dus 83 kJ op.

2

100 g ijs wordt van $0,0^{\circ}\text{C}$ verwarmd tot 20°C .

Hoeveel warmte is daarvoor nodig.

Gegeven:

$$m_{\text{ijs}} = 100 \text{ g}$$

$$T_{\text{begin}} = 0,0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{eind}} = 20^{\circ}\text{C}$$

Gevraagd: Q **Oplossing:**

Regels/formules

We gebruiken het schema:

er is sprake van een fase-overgang (ijs smelt), maar er is ook sprake van temperatuurstijging. We verdelen het probleem in fase-overgang ($Q = \text{smw} \cdot m$) en temperatuurstijging van een stof ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$).

Uitwerking:

a. fase-overgang

$$Q_1 = \text{smw} \cdot m$$

$$\text{smw} = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

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

$$m \text{ in kg} \Rightarrow m = 0,100 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow Q_1 = 334 \cdot 0,100 \text{ kJ} = 33,4 \text{ kJ}$$

b. temperatuurstijging

$$Q_2 = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m = 0,100 \text{ kg}$$

$$\Delta T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta T = 20 \text{ K}$$

$$\Rightarrow Q_2 = 4,2 \cdot 0,100 \cdot 20 \text{ kJ} = 8,4 \text{ kJ}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = 33,4 + 8,4 \text{ kJ} = 41,8 \text{ kJ}$$

Oefen nu zelf met de volgende opgaven:

1

2,5 kg aluminium wordt verwarmd van 400 K tot 600 K.

Bereken de warmte die ervoor nodig is.

(Zoek de soortelijke warmte op in de tabel op bladzijde 4 van dit blok).

2

Hoeveel warmte is nodig om 170 g zilver te smelten?

3

3,0 kg lood wordt verwarmd van 500 K tot 700 K.

Hoeveel warmte is er in totaal nodig?

4

260 g waterdamp van 130°C koelen we af tot water van 50°C.

Hoeveel warmte komt er vrij?

5

De warmte die vrijkomt in vraag 4 wordt gebruikt om 2,0 kg koper te verwarmen. Hoeveel K stijgt het koper in temperatuur?

H 1 Model van een stof

1

Luchtmolekulen bestaan niet. Lucht bestaat voor bijna 80% uit stikstofmolekulen en voor bijna 20% uit zuurstofmolekulen. Daartussen door bewegen zich nog kleine hoeveelheden van andere soorten molekulen.

2

In de vloeibare fase zitten de molekulen vrij dicht op elkaar.

3

In de gasvormige fase bevindt zich veel ruimte tussen de molekulen. Om deze ruimte te laten ontstaan moeten de aantrekkende krachten tussen de molekulen (de vanderwaalskrachten) worden overwonnen. Daarvoor is veel warmte nodig.

4

De vloeistof en het gas in de kolf zetten beide uit bij temperatuurverhoging. Daardoor zal water door de kleine opening van de kolf naar buiten worden geduwd.

5

In een vaste stof zitten de molekulen nog dichter op elkaar dan in een vloeistof. De dichtheid van een vaste stof is daarom groter dan de dichtheid van een vloeistof. Daardoor zinkt een vaste stof in zijn vloeistof.

(In werkblad 2 heb je geleerd dat water een uitzondering is).

H 2 Fase-overgangen; koken

1

Zie hiervoor het schema uit T1.

2

- ijs smelten tot water.
- vloeibare paraffine stollen.
- vloeibare parfum laten verdampen.
- op een koude ruit zie je condensatie van waterdamp.
- vaste jodium vervluchtigt bij verwarming.
- aan de wand van een buisje sublimeert het jodiumgas weer.

3

- | | |
|--------------|-------------------|
| b. verdampen | verdampingswarmte |
| c. stollen | stollingswarmte |
| d. smelten | smeltwarmte |

4

De **kondensatiewarmte** van een stof is de hoeveelheid warmte die vrijkomt als 1 kg van die stof kondenseert.

De **verdampingswarmte** van een stof is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg van die stof te laten verdampen.

De **stollingswarmte** van een stof is de hoeveelheid warmte die vrijkomt als 1 kg van die stof stolt.

De **smeltwarmte** van een stof is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 kg van die stof te laten smelten.

5

In situatie a. verdwijnt het gas dat zich in kleine hoeveelheden in de vloeistof bevindt. In situatie b. is al het gas al verdwenen.

6

De bellen bestaan uit waterdamp.

Ze verdwijnen hoger in de vloeistof omdat daar de temperatuur lager is en de waterdamp weer kondenseert.

7

Koken is een toestand waarbij overal in de vloeistof de temperatuur zo hoog is dat bellen kunnen ontstaan en de oppervlakte bereiken.

8

Een verzadigde damp is een damp waar niet nog meer dampmolekules bij kunnen. Zodra nog molekulen worden toegevoegd, bijvoorbeeld door verdamping van een vloeistof, zullen net zoveel molekulen kondenseren. De verzadigingsdruk is de druk die door een verzadigde damp wordt uitgeoefend.

9

Nee, want de damp raakt verzadigd.

We kunnen meer vloeistof laten verdampen door de temperatuur te verhogen. Bij een hogere temperatuur kan een damp meer molekulen bevatten.

10

Een onverzadigde damp is een damp waaraan nog molekulen kunnen worden toegevoegd. De druk van een onverzadigde damp is kleiner dan de verzadigingsdruk.

H 3 Sommen over verwarmen en fase-overgangen

smelten	: overgang van vast naar vloeibaar.
stollen	: overgang van vloeibaar naar vast.
verdampen	: overgang van vloeibaar naar gas.
kondenseren	: overgang van gas naar vloeibaar.
smeltwarmte	: warmte die nodig is om 1 kg van een stof te laten smelten.
stollingswarmte	: warmte die vrijkomt als 1 kg van een stof stolt.
verdampingswarmte	: warmte die nodig is om 1 kg van een stof te laten verdampen.
kondensatiewarmte	: warmte die vrijkomt als 1 kg van een stof kondenseert.
soortelijke warmte	: warmte die nodig is om 1 kg van een stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.
warmte-kapaciteit	: warmte die nodig is om een voorwerp 1 K in temperatuur te laten stijgen.

1

Gegeven:

$$m_{\text{al}} = 2,5 \text{ kg} \quad c_{\text{al}} = 0,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$T_{\text{begin}} = 200 \text{ K}$$

$$T_{\text{eind}} = 400 \text{ K}$$

Gevraagd:

Q

Oplossing:

Regels/formules:

We gebruiken het schema uit H 3 om de formules te vinden.

Er is geen sprake van een fase-overgang (smeltpunt aluminium 932 K) en het gaat alleen om een stof (niet om een voorwerp) $\Rightarrow Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Uitwerking:

$$\left. \begin{array}{l} m_{\text{al}} = 2,5 \text{ kg} \\ c = 0,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ \Delta T = 200 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow Q = 0,88 \cdot 2,5 \cdot 200 \text{ kJ} \Rightarrow Q = 440 \text{ kJ}$$

2

Gegeven:

$$m = 170 \text{ g}$$

Gevraagd:

Q (smelten)

Oplossing:

Regels/formules: er is hier alleen fase-overgang (smelten) $\Rightarrow Q = \text{smw} \cdot m$

Uitwerking:

$$\left. \begin{array}{l} \text{smw} = 105 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ (tabel op blz. 4)} \\ m = 170 \text{ g} = 0,170 \text{ kg} \end{array} \right\} Q = 105 \cdot 0,170 \text{ kJ} = 17,9 \text{ kJ}$$

3

Gegeven:

$$m_{\text{lood}} = 3,0 \text{ kg}$$

$$T_{\text{begin}} = 500 \text{ K}$$

$$T_{\text{eind}} = 700 \text{ K}$$

Gevraagd: Q

Oplossing:

Regels/formules:

er is sprake van een fase-overgang (smeltpunt lood: 601 K) en temperatuurstijging. We verdelen het probleem als volgt:

500 K – 601 K: temperatuurstijging ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$)

601 K: fase-overgang ($Q = \text{smw} \cdot m$)

601 K – 700 K: temperatuurstijging ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$)

We nemen aan dat de soortelijke warmte van vast en vloeibaar lood dezelfde waarde hebben.

Uitwerking:

temperatuurstijging

$$\left. \begin{array}{l} c = 0,13 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ m = 3,0 \text{ kg} \\ \Delta T = 101 \text{ K} + 99 \text{ K} = 200 \text{ K} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_1 = 0,13 \cdot 3,0 \cdot 200 \text{ kJ} \Rightarrow \\ Q_1 = 78 \text{ kJ} \end{array}$$

Fase-overgang:

$$\left. \begin{array}{l} \text{smw} = 25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ m = 3,0 \text{ kg} \end{array} \right\} Q_2 = 25 \cdot 3,0 \text{ kJ} = 75 \text{ kJ}$$

Totaal is nodig: $Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = 78 + 75 \text{ kJ} = 153 \text{ kJ}$

4

Gegeven:

$$m = 260 \text{ g}$$

$$T_{\text{begin}} = 130^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{water}} = 50^\circ\text{C}$$

Gevraagd:

Q (die vrij komt)

Oplossing:

Regels/formules:

Er is sprake van temperatuursdaling en fase-overgang.

Probleem opdelen:

130°C - 100°C: afkoelen waterdamp ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$)
100°C: fase-overgang (kondenseren) $Q = v_w \cdot m$
100°C - 50°C: afkoelen water ($Q = c \cdot m \cdot \Delta T$)

Uitwerking:

Temperatuurdaling:

a. afkoelen waterdamp

$$\left. \begin{array}{l} c = 2,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \text{ (zie tabel blz. 4)} \\ m = 0,260 \text{ kg} \\ \Delta T = 30 \text{ K} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_1 = 2,0 \cdot 0,260 \cdot 30 \text{ kJ} \Rightarrow \\ Q_1 = 15,6 \text{ kJ} \end{array}$$

b. afkoelen water

$$\left. \begin{array}{l} c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \text{ (zie tabel blz. 4)} \\ m = 0,260 \text{ kg} \\ \Delta T = 50 \text{ K} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_2 = 4,2 \cdot 0,260 \cdot 50 \text{ kJ} \Rightarrow \\ Q_2 = 54,6 \text{ kJ} \end{array}$$

Fase-overgang

$$\left. \begin{array}{l} v_w = 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ m = 0,260 \text{ kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_3 = 2260 \cdot 0,260 \text{ kJ} \\ Q_3 = 588 \text{ kJ (afgerond)} \end{array}$$

Totaal is vrijgekomen: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow Q = 15,6 + 54,6 + 588 \text{ kJ} \Rightarrow$
 $Q = 658 \text{ kJ}$

5

Gegeven:

$Q = 658 \text{ kJ}$

$m = 2,0 \text{ kg}$

Gevraagd:

ΔT

Oplossing:

Regels/formules:

waarschijnlijk is er geen sprake van een fase-overgang $\Rightarrow Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

$Q = 658 \text{ kJ}$

$c = 0,39 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
 $m = 2,0 \text{ kg}$

$\Delta T = ?$

$$\left. \begin{array}{l} 658 = 0,39 \cdot 2,0 \cdot \Delta T \Leftrightarrow \\ 658 = 0,78 \cdot \Delta T \Leftrightarrow \Delta T = \frac{658}{0,78} \text{ K} = 844 \text{ K} \end{array} \right\}$$

Kontrolle:

Nemen we aan dat het koper een begintemperatuur had van 293 K (kamertemperatuur). Dan wordt de eindtemperatuur $844 \text{ K} + 293 \text{ K} = 1137 \text{ K}$.

De eindtemperatuur ligt dan onder het smeltpunt.

29 Een proef over oppervlaktespanning

Herinner je je de proef nog over het drijven van een scheermesje op een wateroppervlak en het blazen van zeepbellen? Schrijf de verklaring van die proeven nog eens op.

We gaan nu meten hoe groot de kracht is om een vierkant blikje door het oppervlak van zeepsop en van glycerine te trekken.

Eerst moeten we een gevoelige krachtmeter maken (zie tekening). Neem het klosje met daarin een stuk staal draad. Hang er achtereenvolgens 1 g, 2 g, 5 g en 10 g aan. Het puntje van het staal draad komt dan achtereenvolgens bij bepaalde standen van een strook millimeterpapier, dat op een rechtopstaande lat is geplakt. Noteer op deze strook waar de punt van het staal draad kwam bij een kracht van 0,01 N, 0,02 N, 0,05 N, en 0,10 N. Dan hebben we onze krachtmeter geijkt.

Hang nu aan het uiteinde van het staal draad het blikje van 2×2 cm. Hoe groot is de uitwijking van het staal draad op de strook papier? Wat is het gewicht van het blikje? Houd nu een glas met zeepsop om het blikje, zodat het totaal ondergedompeld wordt. Trek nu het glas langzaam omhoog.

Noteer de stand van de krachtmeter op het moment dat het blikje het zeepsopvlies loslaat.

Hoe groot is de kracht wanneer de zeepsopfilm het plaatje loslaat?

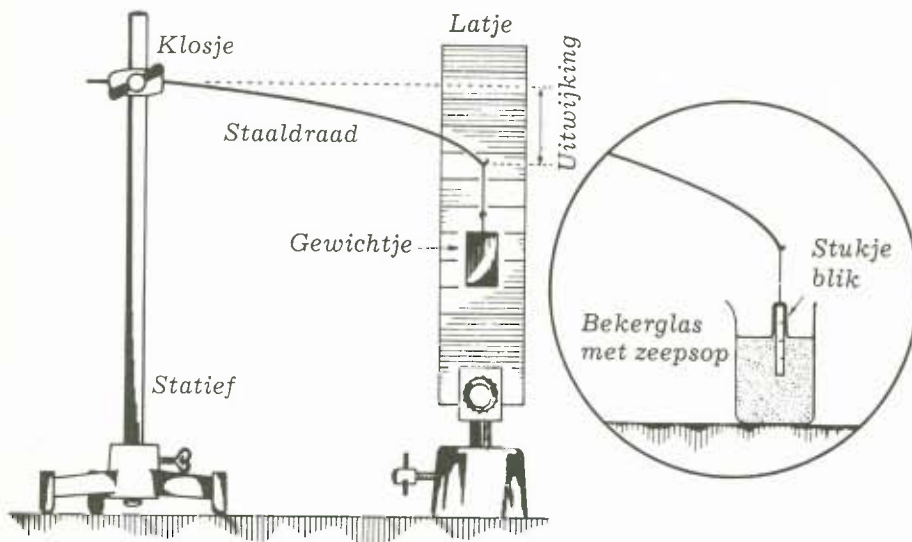
Hoeveel centimeter kon je het blikje omhoog trekken voordat het zeepvlies losliet?

De oppervlaktespanning is nu de kracht die nodig was om het vlies 1 cm omhoog te trekken, dus de oppervlaktespanning is N/cm

Herhaal deze proef nu eens met glycerine.

Welke vloeistof heeft de grootste oppervlaktespanning?

Zie ook: Archimedes: jaargang 6, nr. 4 en jaargang 9, nr. 4.



30. Scheidingsvlakken maken

Om diffusie bij vloeistoffen te laten zien, goten we water op een oplossing van kopersulfaat. Aan het begin van die proef viel vooral het scheidingsvlak tussen water en de oplossing van kopersulfaat op. Misschien heb je dit effect al eens meer gezien bij vloeistoffen. Bijvoorbeeld olie op water. Als twee vloeistoffen vlot met elkaar mengen kun je alleen een scheidingsvlak maken als je voorzorgsmaatregelen neemt.

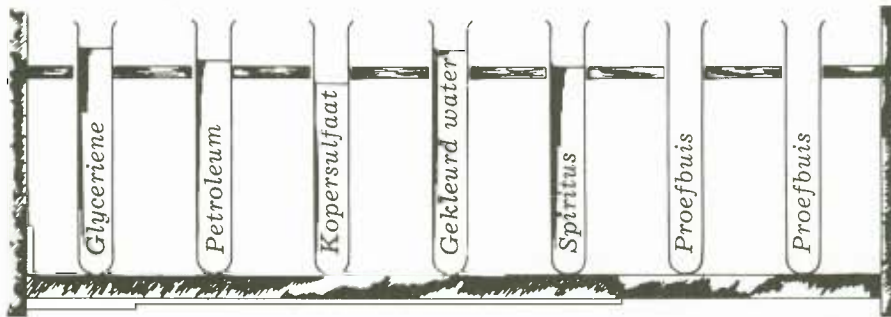
Scheidingsvlakken maken.

Om fraaie scheidingsvlakken te krijgen moet je vloeistoffen voorzichtig op elkaar gieten.

Je kunt dit doen met vloeistoffen, die je thuis in de keuken aan kunt treffen. Thuis maakte ik het hiernaast staande kunstwerk. In een borrelglas goot ik achtereenvolgens: rode limonadesiroop, slaolie, paarse spiritus, lampe-olie. Natuurlijk kun je ook andere vloeistoffen nemen zoals water, azijn, de dranken jenever, sherry, wijn, crème de cacao. Vloeistoffen als petroleum, naaimachine-olie en benzine doen het natuurlijk ook. Let er wel op dat een aantal vloeistoffen vrij brandbaar is. Het vermijden van vuur is een eerste vereiste.



Je kunt deze proef natuurlijk ook op school doen. Daartoe gebruik je meestal de volgende vloeistoffen:



Vele vloeistoffen en dampen zijn giftig. Zorg ervoor dat je zo weinig mogelijk inademt.

Probeer de vloeistoffen maar eens op elkaar te gieten en probeer zoveel mogelijk scheidingsvlakken te maken.

Na wat experimenten heb je een reageerbuisje met daarin een aantal vloeistoffen boven elkaar. Tussen deze vloeistoffen heb je prachtige scheidingsvlakken. Verklaar eens waarom de ene vloeistof boven de andere blijft zitten. Zou je hieronder de vloeistoffen, die in het reageerbuisje zitten, kunnen opschrijven in de volgorde van grootste dichtheid naar kleinste dichtheid?

Zoek de dichtheden van deze stoffen eens op in het tabellenboekje (van je leraar) en schrijf achter de vloeistoffen de grootte van hun dichtheden.

31. Vloeistofdruppels op een glasplaat en mengbaarheid van vloeistoffen onderling

De volgende proeven worden in groepjes van minimaal drie personen gedaan.

Voor de proeven heb je als vloeistoffen nodig:

paraffine-olie, glycerine, water, spiritus en anti-vries.

Zorg dat je zo weinig mogelijk dampen inademt, de meeste vloeistoffen en dampen zijn giftig.

Proef 1

Druppelproef

Druppel met een glazen staafje op een (met spiritus) ontvet objektglaasje van iedere vloeistof een druppel. Bekijk de druppels goed met een loep.

Teken de vorm van de druppels in zij-aanzicht.

Maak nu een objektglaasje een beetje vet door er met een vette vinger of doek over te strijken. Doe de proef nog eens en teken weer de vorm van de druppels in zij-aanzicht. Noteer wat je opvalt als je de tekeningen onderling vergelijkt.

Proef 2

Mengproef

Bij deze proef gaan we proberen of de vloeistoffen zich met elkaar willen mengen. Doe in de eerste 4 reageerbuizen ca. 1 ml (1 cm hoog) paraffine-olie en doe hierop in iedere buis ca. 1 ml van een andere vloeistof. Ga dan schudden en noteer je waarnemingen. Zet de buizen in volgorde terug in je rekje. Doe in de drie volgende buizen ca. 1 ml glycerine en hierop 1 ml van de overige vloeistoffen (paraffine-olie niet, waarom niet?). Ga dan schudden en noteer je waarnemingen. Ga zo door tot je alle vloeistoffen hebt proberen te mengen. Noteer je waarneming. Doe nu bij de buizen waarin de vloeistoffen niet wilden mengen een paar druppels vloeibaar afwasmiddel en ga opnieuw flink schudden. Schrijf je waarnemingen op. Probeer nu aan de hand van de druppel en de mengproef de vijf vloeistoffen te verdelen in twee groepen. Welk onderscheid zou je tussen de groepen willen maken?

Theorie

Proef 1

Bij de druppelproef zijn drie krachten belangrijk:

- 1 de **zwaartekracht**, die probeert de druppel naar beneden te trekken;
- 2 de **kohesie**, de samenhang in de vloeistof, die probeert de druppel zo klein mogelijk te maken;
3. de **adhesie**, de samenhang tussen de vloeistof en de vaste stof, hier dus het glas, die probeert de vloeistof aan het glas te hechten.

Aan de hand van de tekening van proef 1 kun je zien welke kracht het wint:

de kohesiekracht, die probeert de druppel bolvormig te maken, of de twee andere krachten, die proberen de druppel uit te smeren. Door nu het glasplaatje vet te maken zullen de druppels op het vet liggen, en niet op het glas. Welke twee krachten blijven hetzelfde en welke kracht kan er veranderen?

Proef 2

Je kunt de vloeistoffen in twee groepen indelen:

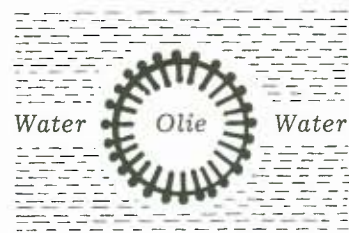
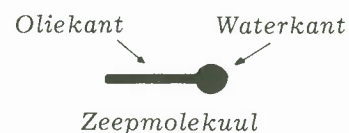
- 1 de „watergroep”;
- 2 de „oliegroep”.

De vloeistoffen van de watergroep lossen in elkaar op, die van de oliegroep lossen ook in elkaar op. Een vloeistof van de watergroep lost niet op in een vloeistof van de oliegroep. „Soort zoekt soort”. Als je aan een vloeistof van de oliegroep of een vloeistof van de watergroep wat vloeibaar afwasmiddel of zeep toevoegt, kun je deze vloeistoffen wel mengen. Ze lossen echter niet in elkaar op, maar er ontstaan druppeltjes

van de ene vloeistof in de andere. Zo'n mengsel noemt men **emulsie**. Een emulsie ziet er vaak blauwachtig-wit uit.

Molekulen van afwasmiddelen en zeep (emulgatoren) hebben de bijzondere eigenschap dat de ene kant van de molekulen hoort bij de watergroep en de andere kant bij de oliegroep.

Omdat een oliedruppel na emulgeren van buiten „waterachtig” is geworden, kan de druppel in het water blijven bestaan. Hierop berust de reinigende werking van zeep en afwasmiddel: vetachtige deeltjes komen door emulgatoren in het waswater terecht. Andere voorbeelden van emulsies zijn: melk, boter, margarine, kosmetika, mayonaise.



Vragen

1

Teken een waterdruppel met zeepmolekulen in zijn grensvlak (oppervlak).

2

Bij welke van de twee groepen zou je zo'n „waterdruppel” kunnen indelen?

3

Hoe zou de vorm zijn van een waterdruppel-met-zeep op een vet objectglaasje in vergelijking met de waterdruppel zonder zeep?

4

Melk bestaat uit „olie-druppels” in „water”. Boter bestaat uit „waterdruppels” in „olie”.

Wat gebeurt er tijdens het bereiden van boter uit melk?

5

Wat is onder andere het verschil tussen boter en room?

6

Waarom gaat het wassen met zeep beter dan zonder zeep?

7

Melk wordt bij verdunning met water blauwachtig-wit van kleur. Hoe komt dat?

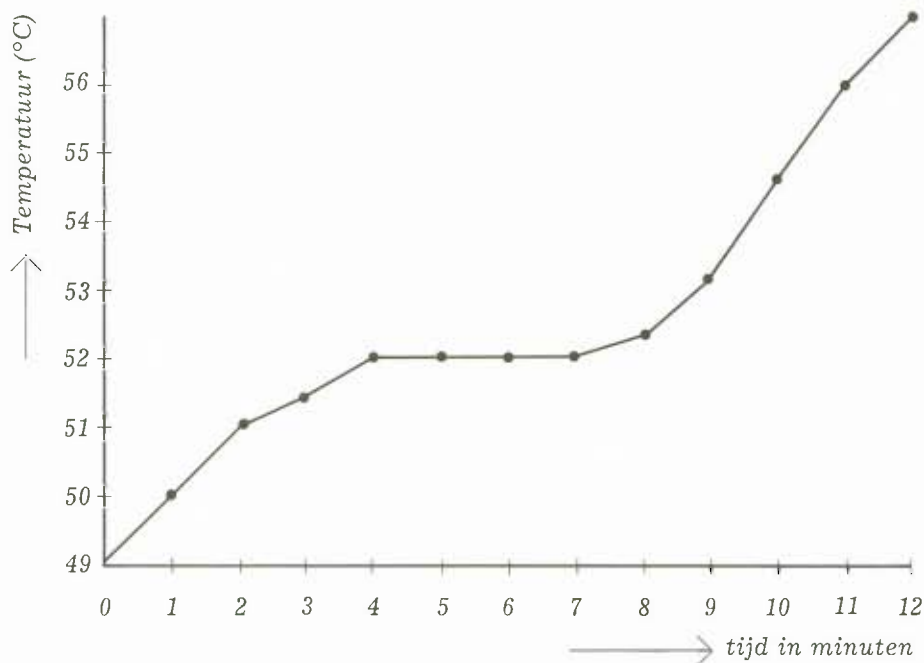
149. Oefenen met examensommen

In dit extra stof blad kun je oefenen voor het eindexamen met een aantal examenopgaven van vorige examens.

Probeer de sommen steeds te maken zoals je dat geleerd hebt: lees eerst het vraagstuk rustig door, noteer de gegevens en het gevraagde, bedenk hoe je de som ongeveer zou kunnen oplossen (maak een tekening), schrijf de formules op die je nodig hebt en vul de gegevens in. Vergeet vooral niet je antwoord te controleren. Veel succes!

1

Een onbekende vaste stof wordt gelijkmatig verwarmd tot hij is gesmolten. Ook de ontstane vloeistof wordt nog enige tijd verwarmd. Om de minuut wordt de temperatuur gemeten. De resultaten van de proef staan in onderstaand diagram.



- Bepaal met behulp van de gegevens over vaste stoffen, vloeistoffen en gassen in je tabellenboek, welke stof verwarmd is.
- Aan de grafiek is te zien dat de soortelijke warmte van de gesmolten stof niet gelijk is aan die van de vaste stof.
Leg uit wanneer de soortelijke warmte van de stof het grootst is: als hij vast of als hij vloeibaar is.

2

In de ketel van een centrale verwarming wordt aardgas verbrand om het water in de ketel te verwarmen. Niet alle energie die door de verbranding van het aardgas vrijkomt, komt in het water terecht. Er gaat ook warmte verloren door slechte isolatie of door andere oorzaken. Om te bepalen welk deel van de warmte die bij de verbranding vrijkomt werkelijk gebruikt wordt om het water te verwarmen, heeft iemand de volgende gegevens verzameld:

- door de ketel wordt iedere minuut 10 liter (= 10 kg) water gepompt.
- het water gaat de ketel in met een temperatuur van 65°C en komt er uit met een temperatuur van 85°C.
- de soortelijke warmte van water is $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- elke minuut wordt een hoeveelheid aardgas verbrand die 1200 kJ warmte oplevert.

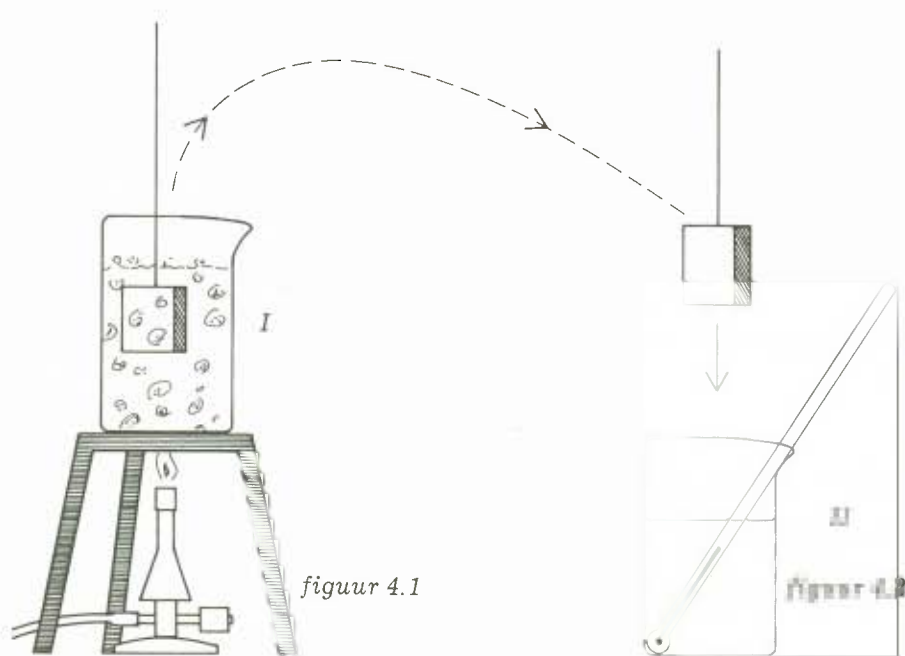
Bereken welk deel van de opgewekte warmte in het water komt.

3

Parfums bestaan voor een groot deel uit stoffen die gemakkelijk verdampen, zodat je ze goed kan ruiken.

Leg uit waarom het koud aanvoelt als je wat parfum op je huid doet.

Iemand wil de soortelijke warmte van lood bepalen. Hij gebruikt daarvoor de opstelling die getekend is in figuur 4.1 en figuur 4.2.



De proef verloopt als volgt:

Met behulp van een touwtje hangt men eerst een blokje lood van 105 g enige minuten in kokend water in beker glas I, zodat het blokje dezelfde temperatuur krijgt als het kokend water. Het lood wordt er dan uitgehaald, snel afgedroogd en in een ander beker glas (II) gedaan. Bekerglas II bevat 100 g water met een temperatuur van 291 K. Na goed roeren loopt de temperatuur van het water in beker glas II op tot 293 K. Daarna koelt het geheel langzaam af.

De soortelijke warmte van water is $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

- Bereken de hoeveelheid warmte die nodig is om 100 g water 2 K in temperatuur te laten stijgen.
- Bereken welke waarde men met behulp van deze proef voor de soortelijke warmte van het lood vindt. Neem aan dat de door het lood afgestane warmte alleen wordt gebruikt voor het opwarmen van het water.
- Als je de werkelijke waarde van de soortelijke warmte van lood in een tabellenboek opzoekt, zie je dat die hoger is. Leg uit hoe het komt dat de waarde van de soortelijke warmte die je uit de proef berekend hebt, te laag is.

5

Iemand wil de warmtecapaciteit van een thermometer bepalen. Hij verwarmt 100 g water van 20°C tot 70°C. Hij zet in het water ook de thermometer. Om het water en de thermometer op te warmen heeft hij

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

Bereken de warmtecapaciteit van de thermometer.

Antwoorden

1

- Je ziet dat bij een bepaalde temperatuur de grafiek een poosje horizontaal loopt. Dat betekent dat van $t = 4$ min tot $t = 8$ min de toegevoerde warmte geen temperatuurstijging heeft veroorzaakt. Blijkbaar is bij die temperatuur de stof gesmolten. Het smeltpunt van de onbekende stof ligt dus bij 52°C. Nu zoek je in je tabellenboek op, welke stof een smeltpunt van 52°C heeft. Die stof is: paraffine.

- b. Van $t = 8$ min tot $t = 12$ min loopt de grafiek steiler dan van $t = 0$ min tot $t = 4$ min. Dat betekent dat in het tweede gedeelte van de grafiek de temperatuur sneller oploopt. Dezelfde toegevoerde warmte geeft bij de vloeibare fase dus een grotere temperatuurstijging dan bij de vaste fase. De soortelijk warmte is dus kleiner in de vloeibare fase dan in de vaste fase.

2

Gegeven:

Per minuut wordt 10 kg water verwarmd.

Het water wordt $20^\circ\text{C} = 20\text{ K}$ verwarmd.

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

Per minuut wordt 1200 kJ warmte gebruikt.

Gevraagd:

Welk deel van de toegevoerde warmte wordt gebruikt voor de temperatuurverhoging van het water?

Oplossing:

Regels/formules:

Je berekent eerst hoeveel warmte nodig is om 10 kg water 20 K te verwarmen.

Dan bereken je het hoeveelste deel dat is van 1200 kJ.

Formule: $Q = \text{soortelijke warmte} \cdot \text{massa} \cdot \text{temperatuurverschil}$.

Uitwerking:

$$\left. \begin{array}{l} c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \\ m = 10 \text{ kg} \\ \Delta T = 20 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} Q = 4,2 \cdot 10 \cdot 20 \text{ kJ} \\ Q = 840 \text{ kJ} \end{array}$$

In totaal is 1200 kJ warmte toegevoerd.

Het deel van de opgewekte warmte dat in het water komt

is dus $\frac{840}{1200} = 0,7$

Dat is een redelijk deel van de opgewekte warmte.

3

Je weet uit blok 20 dat verdampen warmte kost. Voor het verdampen van de parfum op je hand is dus warmte nodig. Die warmte wordt onttrokken aan je huid. Daardoor voelt het koud aan als de parfum van je hand verdampt.

4

Gegeven:

$m_{\text{lood}} = 105 \text{ g}$

$m_{\text{water}} = 100 \text{ g}$

begintemperatuur lood: $100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$ (zelfde temperatuur als kokend water).

eindtemperatuur lood = 293 K (zelfde als het water)

begintemperatuur water = 291 K .

eindtemperatuur water = 293 K .

soortelijke warmte water = $4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

a. Gevraagd;

Q (verwarmen water)

Oplossing:

regels/formules:

geen fase-overgang: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Uitwerking:

$$\left. \begin{array}{l} c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \\ m = 0,100 \text{ kg} \\ \Delta T = 2 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow Q = 4,2 \cdot 0,100 \cdot 2 \text{ kJ} \Rightarrow Q = 0,84 \text{ kJ}$$

b. **Gevraagd:**

c_{lood}

Oplossing:

Regels/formules:

- opgenomen warmte = afgestane warmte \Rightarrow wat het water aan warmte opneemt heeft het lood afgestaan.
- $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Uitwerking:

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{afgestaan}} = 0,84 \text{ kJ (zie onderdeel a.)} \\ c = ? \\ m = 105 \text{ g} = 0,105 \text{ kg} \\ \Delta T = 80 \text{ K (van } 373 \text{ K} \rightarrow 293 \text{ K)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Rightarrow 0,84 = c \cdot 0,105 \cdot 80 \Leftrightarrow \\ 0,84 = c \cdot 8,4 \Rightarrow c = 0,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \end{array}$$

5.

Gegeven:

$\text{massa}_{\text{water}} = 100 \text{ g}$

$\text{begintemperatuur}_{\text{water}} = 20^\circ\text{C}$

$\text{eindtemperatuur}_{\text{water}} = 70^\circ\text{C}$

$\text{begintemperatuur}_{\text{thermometer}} = 20^\circ\text{C}$

$\text{eindtemperatuur}_{\text{thermometer}} = 70^\circ\text{C}$

$\text{soortelijke warmte}_{\text{water}} = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$

$\text{nodige warmte} = 21.250 \text{ J.}$

Gevraagd:

$k_{(\text{thermometer})}$

Oplossing:

Regels/formules:

Je weet dat je 21.250 J nodig hebt om de thermometer en het water op te warmen. Als je nu eerst berekent hoeveel J je nodig hebt om alleen het water te verwarmen, weet je ook hoeveel J je nodig hebt om de thermometer te verwarmen. Als je dat deelt door het temperatuursverschil krijg je de warmtecapaciteit van de thermometer. ($Q = k \cdot \Delta T$).

Uitwerking:

$$\left. \begin{array}{l} c = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ m = 0,100 \text{ kg} \\ \Delta T = 50 \text{ K} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} Q = 4,2 \cdot 0,100 \cdot 50 \text{ kJ} \Rightarrow \\ Q = 21 \text{ kJ} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{totaal}} = 21\,250 \text{ J} \\ Q_{\text{water}} = 21\,000 \text{ J} \end{array} \right\} \quad Q_{\text{meter}} = 250 \text{ J}$$

Er is dus 250 J nodig om de thermometer te verwarmen.

$$\left. \begin{array}{l} Q = 250 \text{ J} \\ \Delta T = 50 \text{ K} \\ k = ? \end{array} \right\} \Rightarrow 250 = k \cdot 50 \Rightarrow k = 5,0 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

