

Warmte

- § 1 Transport van warmte
- § 2 Straling
- § 3 Broeikaseffect
- § 4 Soortelijke warmte
- § 5 Beginsel van Black
- § 6 Vermogen van een verwarmingsbron

§ 1 Transport van warmte

De drie vormen van warmtetransport

Warmte kan van de ene naar de andere plaats gebracht worden. Men zegt dan dat de warmte getransporteerd wordt. Er zijn drie manieren waarop warmtetransport kan plaatsvinden, namelijk: geleiding, stroming en straling. Zie de figuren hiernaast.

In de bovenste figuur vindt warmtetransport door geleiding plaats. Het linker uiteinde van een metalen staaf wordt met een gasvlam verhit. Na enige tijd is ook het rechter uiteinde heet. Blijkbaar kan warmte zich in de staaf verplaatsen.

Dit “transport” van warmte door de staaf wordt zichtbaar gemaakt met drie blokjes, die met behulp van touwtjes aan de staaf hangen (zie de figuur). Met kaarsvet zijn de touwtjes aan de staaf bevestigd. Nadat de gasbrander onder het linker uiteinde van de staaf is gezet, zal eerst blokje 1 naar beneden vallen, daarna blokje 2 en tenslotte blokje 3. Blijkbaar is het kaarsvet bij blokje 1 het eerst gesmolten.

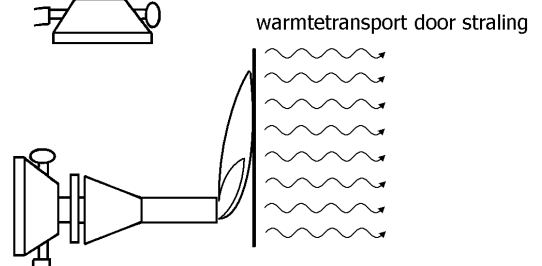
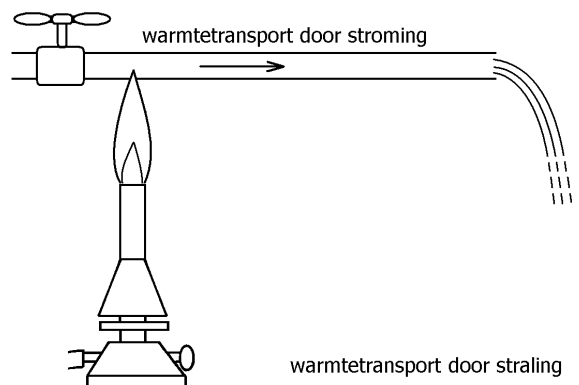
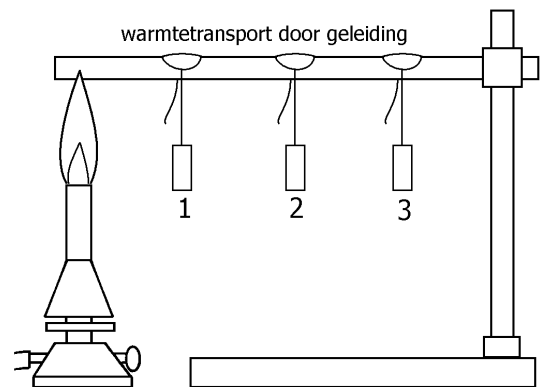
In de middelste figuur vindt warmtetransport door stroming plaats. Er stroomt water door de buis. Het water wordt op één plaats door een gasvlam verwarmd. De warmte wordt door het stromende water meegevoerd. In het algemeen gaat warmtetransport door stroming veel sneller dan warmtetransport door geleiding.

In de onderste figuur vindt warmtetransport door straling plaats. De gasvlam verhit een metalen plaat. Deze plaat zendt dan infrarode straling uit. Men spreekt ook wel van warmtestraling. Infrarode straling maakt deel uit van de familie van “elektromagnetische golven”. In de figuur is deze straling met “golfjes” aangegeven.

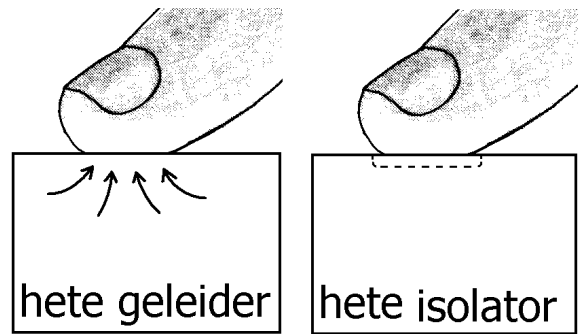
In tegenstelling tot warmtetransport door geleiding en stroming heeft warmtetransport door straling geen stof nodig. Zo zendt de zon ook veel straling uit. Een deel van deze straling bereikt de aarde, terwijl de ruimte tussen de zon en de aarde vacuüm is.

Meer over geleiding

Stoffen waarin warmte zich goed kan verplaatsen, heten warmtegeleiders of kortweg geleiders. Stoffen waarin de warmte zich niet of slecht kan verplaatsen, heten isolatoren. Alle metalen zijn goede geleiders. Sommige metalen geleiden de warmte trouwens beter dan andere. Zo geleiden koper en zilver de warmte veel beter dan lood en ijzer. Voorbeelden van isolatoren zijn hout, rubber, kurk en (in mindere mate) glas en zand. De meeste (stilstaande) vloeistoffen en gassen zijn isolatoren.



Als je een hete geleider aanraakt, kun je je flink branden. Als je echter een hete isolator aanraakt, voelt hij alleen in het begin heet aan. Daarna niet meer. Zie ook de figuren hiernaast. Als je je vinger op een hete geleider legt, dan kan de warmte vanuit alle punten van het voorwerp gemakkelijk naar de vinger bewegen. Bij een hete isolator kan de warmte alleen vanuit de oppervlaktelaag naar de vinger overstappen. De warmte in het binnenste van het voorwerp kan niet wegstromen.



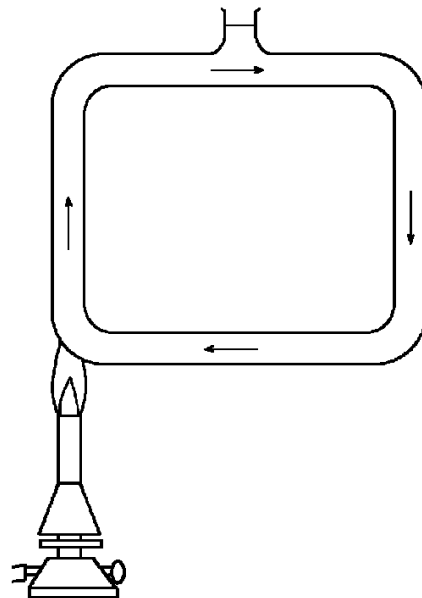
Als je bijvoorbeeld op een warme zonnige dag met blote voeten op het strand loopt, dan voelt elke stap heet aan. Als je echter stil gaat staan, voelt het zand niet meer heet aan. Stilstaan op een dikke hete staalplaat zou echter nog steeds onmogelijk zijn.

Het feit dat stilstaande lucht een isolator is, wordt toegepast bij kleding zoals een trui. De vezels van de trui voorkomen dat de lucht beweegt. Dus wordt warmteverlies door stroming voorkomen en blijft de lichaamswarmte behouden.

Meer over stroming

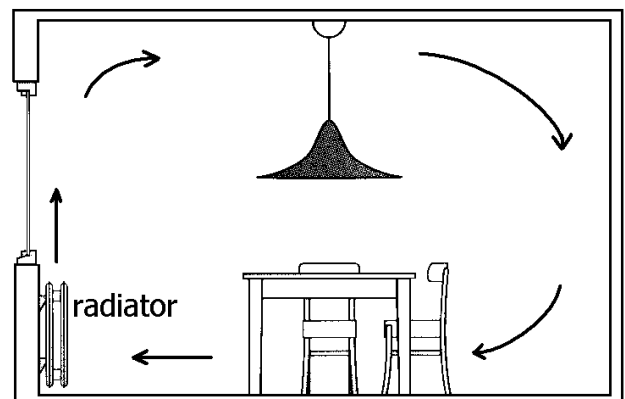
Warmtetransport door stroming is uiteraard alleen mogelijk in aanwezigheid van een vloeistof of gas. In veel gevallen veroorzaakt de warmtebron zelf de stroming hiervan (en niet bijvoorbeeld een pomp). Neem de volgende twee voorbeelden.

In de figuur hiernaast bevat de buis water. Als je één hoek van de buis verwarmt, blijkt het water te gaan rondstromen. Zie de pijlen in de figuur. Door de stroming wordt de warmte van de vlam naar andere delen van de buis getransporteerd.



Het water gaat stromen omdat er dichtheidsverschillen in het water ontstaan. Door verhitting zet het water namelijk uit. Het hete water is dan lichter geworden en gaat omhoog.

Iets soortgelijks vindt plaats in huiskamers. Zie de figuur hiernaast. De lucht bij de warmtebron (zoals een radiator of kachel) wordt warm en zet uit. Hierdoor stijgt deze lucht op. Aan de onderkant van de warmtebron wordt (koude) lucht aangezogen. Op deze manier gaat de lucht in de kamer rondstromen.



Opgaven bij § 1

Opgave 1

Noem de drie manieren waarop warmte van de ene naar de andere plaats kan gaan.

Opgave 2

Welke groep stoffen bestaat uit goede geleiders? _____

Noem vier stoffen uit deze groep.

Noem vier stoffen, die een isolator zijn.

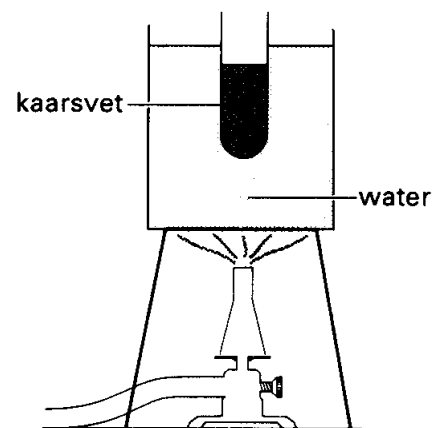
Opgave 3

Els wil in een reageerbuisje voorzichtig kaarsvet smelten. Ze brengt daarom het reageerbuisje niet in de vlam, maar verwarmt het buisje met kaarsvet in een blik met water. Zie de figuur hiernaast.

Welke vorm van warmtetransport vindt plaats door het metaal van het blik? _____

Welke vorm van warmtetransport vindt vooral plaats door het water? _____

Welke vorm van warmtetransport vindt plaats door het glas van het reageerbuisje?



Opgave 4

Een Finse sauna is een hete ontspanningsruimte (de luchttemperatuur kan oplopen tot 90 °C). Gedurende een aantal minuten zit of lig je op houten planken.

Leg uit waarom het interieur van hout gemaakt is en niet van een metaal zoals staal.

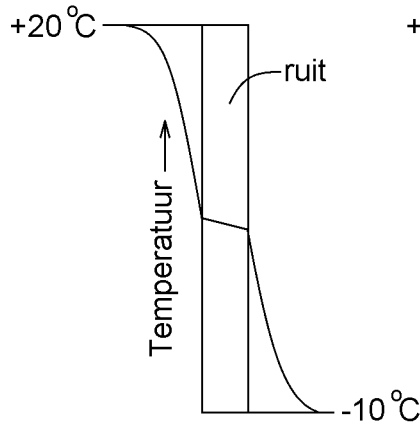
Opgave 5

Leg uit waarom een trui je warm houdt.

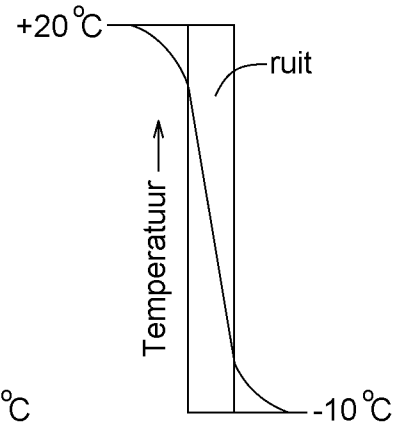
Opgave 6

Glas is een isolator. Om warmteverlies door een raam (stel enkel glas) tegen te gaan, zou je kunnen overwegen om een dikkere ruit te nemen. Toch heeft dit geen zin omdat aan beide kanten van de ruit een dun laagje (stilstaande) lucht van zeg 2 mm dikte zit en lucht veel beter isoleert dan glas. Een raam dankt zijn isolerend vermogen voor het overgrote deel aan deze luchtlaagjes.

Nu komt de vraag. Hiernaast is twee keer een ruit getekend. In beide gevallen is de binnentemperatuur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en de buitentemperatuur $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. In welke figuur (a of b) is het temperatuurprofiel juist getekend? Leg je antwoord uit.



Figuur a

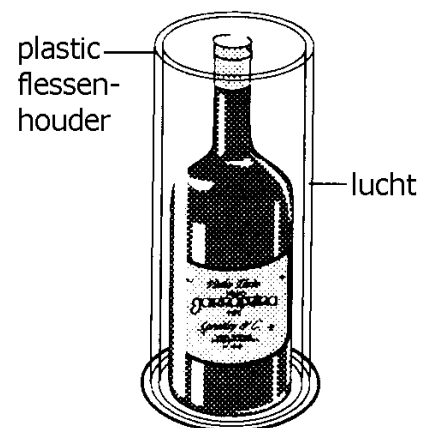


Figuur b

Leg uit waarom men vaak ramen van dubbel glas gebruikt.

Opgave 7

Om een fles wijn aan tafel een tijd koel te houden, is een dubbelwandige plastic flessenhouder in de handel. Zie de figuur hiernaast. Waarom is de flessenhouder dubbelwandig?

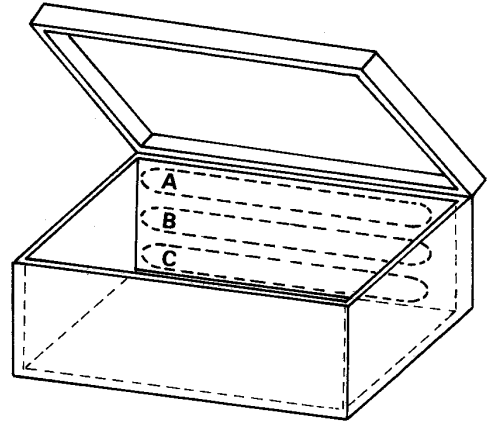


Leg uit dat het niet nodig is om de flessenhouder van een deksel te voorzien.

Opgave 8

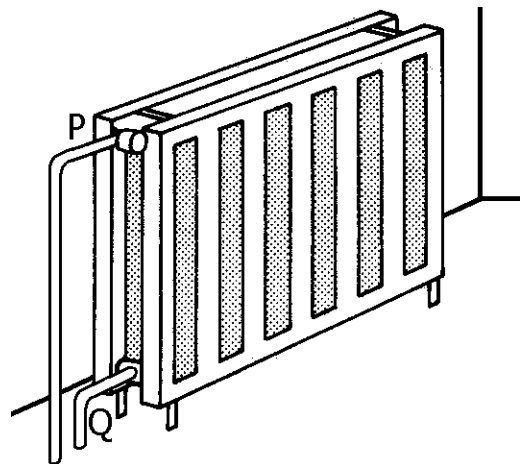
In een diepvrieskist moet de temperatuur overal even laag zijn. Het koelelement kan op drie hoogten worden aangebracht, zie de figuur hiernaast.

Op welke hoogte moet het koelelement zitten voor een zo gelijkmatig mogelijke temperatuur in de kist? Bij A, B of C? Licht je antwoord toe.



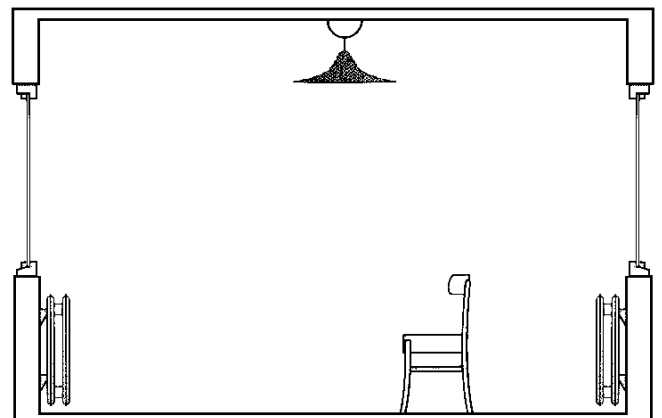
Opgave 9

Hiernaast is een radiator van een centrale verwarming getekend. Door de radiator stroomt heet water. Dit water kan op twee manieren door de radiator stromen: van P naar Q of van Q naar P. Op welke manier werkt de radiator het beste? Licht je antwoord toe.



Opgave 10

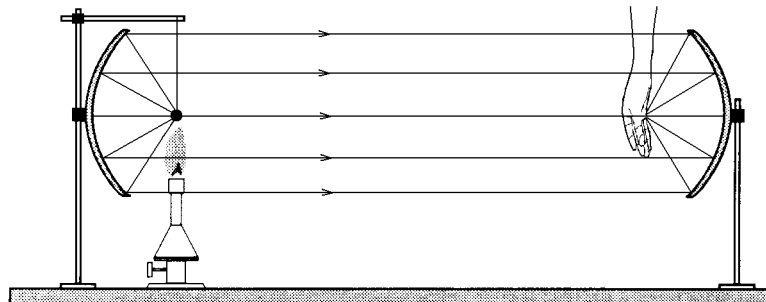
In de figuur hiernaast is een kamer met twee hete radiatoren afgebeeld. Geef in de figuur met pijlen aan hoe de luchtstroom zal lopen.



§ 2 Straling

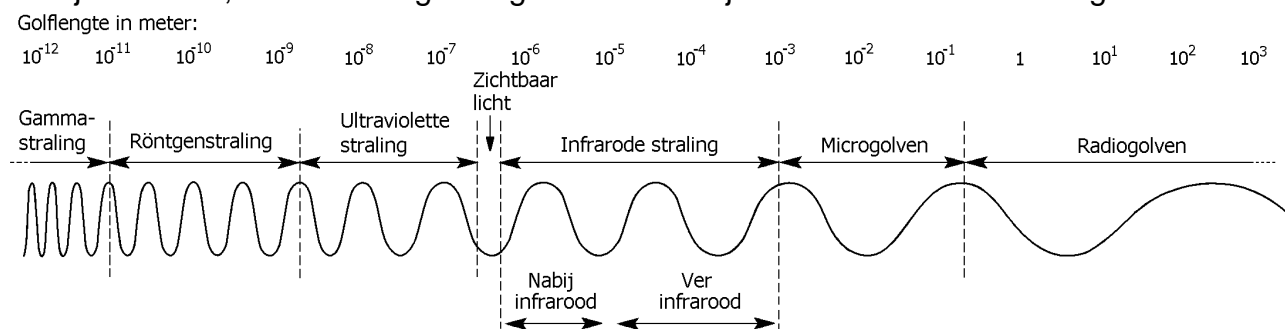
Proeven met warmtetransport door straling

In de onderstaande linker figuur houd je je handen op kleine afstand van je wangen. Je voelt de warmte van je handen. Je handen zenden namelijk infrarode straling uit die op je wangen valt. In de onderstaande rechter figuur bevindt een kogel zich in het brandpunt van een holle spiegel. De kogel wordt verhit door een gasvlam. De kogel zendt, net als je handen, infrarode straling uit. Het deel van de straling dat op de spiegel valt, wordt teruggekaatst. De teruggekaatste (evenwijdige) bundel valt op een tweede holle spiegel. Deze kaatst de infrarode straling terug in de richting van zijn brandpunt. Als je je hand op de plaats van dit brandpunt houdt, voelt dit heet aan. In zowel de linker als de rechter figuur vindt warmtetransport door straling plaats.



Infrarode straling binnen het elektromagnetische spectrum

In de bovenstaande proeven zorgt infrarode straling voor het warmtetransport. Het gaat hier hoofdzakelijk om infrarood met grote golflengtes. Dit langgolvlige infrarood wordt ook wel 'ver infrarood' genoemd. De onderstaande figuur laat zien waar het ver infrarood zich binnen het elektromagnetische spectrum bevindt. Omwille van de eenvoud is het infrarode gebied in de figuur in slechts twee deelgebieden gesplitst. Het tweede deelgebied, het 'nabij infrarood', heeft kleine golflengtes en komt bijvoorbeeld in zonnestraling voor.



Meer warmtestraling bij een hogere temperatuur

Natuurkundigen hebben ontdekt, dat een voorwerp bij elke temperatuur elektromagnetische straling uitzendt. Men noemt deze uitgezonden straling 'warmtestraling'. Maar het is wel zo dat er bij een hogere temperatuur meer warmtestraling wordt uitgezonden. Daarom werd de kogel in de bovenstaande proef ook verwarmd. Maar ijskoude voorwerpen zenden ook warmtestraling uit. Dit is er bijvoorbeeld de oorzaak van dat voorwerpen in de ruimte zonder zonlicht sterk afkoelen. Denk maar aan de buitenplaneten in ons zonnestelsel.

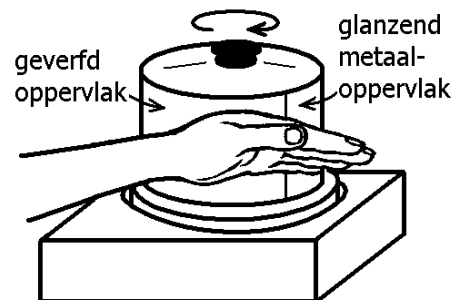
De invloed van de temperatuur op de soort warmtestraling

De temperatuur van het voorwerp is ook van invloed op de soort warmtestraling, die hij uitzendt. Bij een toenemende temperatuur zullen de golflengtes van de uitgezonden straling namelijk korter worden. Neem de volgende voorbeelden. Voorwerpen om ons heen, zoals muren, ramen, radiatoren, en wijzelf ook, zenden bijna alleen maar ver infrarood uit. Zeer hete voorwerpen, met temperaturen waarbij ijzer smelt, zenden in verhouding veel nabij infrarood uit. Onze zon is nog heter. Deze zendt naast kortgolvig infrarood en zichtbaar licht zelfs wat ultraviolette straling uit. In de rest van deze paragraaf beperken we ons tot warmtestraling in onze leefomgeving. Dat wil zeggen dat de warmtestraling voornamelijk langgolvig infrarood is.

De invloed van het oppervlak op de uitstraling van warmte

De aard van het oppervlak beïnvloedt hoeveel warmtestraling wordt uitgezonden. Zo zendt een (glanzend) metaaloppervlak weinig straling uit. De meeste andere oppervlakken zenden het ver infrarood gemakkelijk uit. Zo is een radiator (letterlijk 'straler') van de centrale verwarming in huis altijd geverfd. Het zou erg onverstandig zijn om de verf van een radiator weg te schuren zodat het kale ijzer (staal) zichtbaar zou worden.

Dit kunnen we met de volgende proef aantonen. We gebruiken daarvoor een kookpan met aan de buitenkant een glanzend metaaloppervlak. We beschilderen de helft van de omtrek met waterverf. De kleur maakt niet uit. We zetten de pan op een langzaam draaiende ondergrond (zoals de draaitafel van een oude pick-up) en vullen hem met kokend water, zoals hiernaast is afgebeeld. Als je de buitenkant van je hand nu een centimeter of twee van de pan houdt, dan voel je een steeds terugkerende warmte. Het geverfde deel van de pan zendt namelijk meer warmtestraling uit.

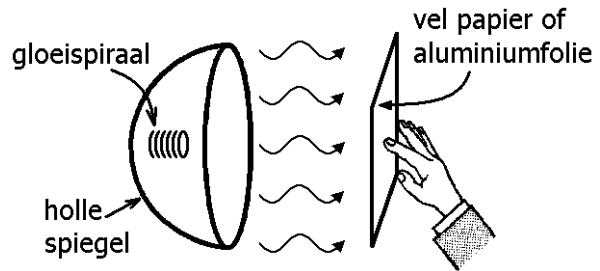


Stel dat een te vroeg geboren baby in het ziekenhuis moet worden verplaatst van de ene naar de andere ruimte. Dan wikkelt men de baby vaak in met glanzend metaalfolie (bijvoorbeeld aluminiumfolie). Hiermee wordt het uitzenden van warmtestraling sterk verminderd en wordt voorkomen dat de baby te veel afkoelt.

Absorptie van warmtestraling

Als er warmtestraling op het oppervlak van een voorwerp valt, zal dit oppervlak een deel van deze straling absorberen en de rest reflecteren (= terugkaatsen). Net als bij het uitzenden van warmtestraling bepaalt de aard van het oppervlak hoeveel straling geabsorbeerd wordt. Een glanzend metaaloppervlak absorbeert weinig warmtestraling. Bijna alle andere oppervlakken absorberen warmtestraling goed (ten minste het ver infrarood).

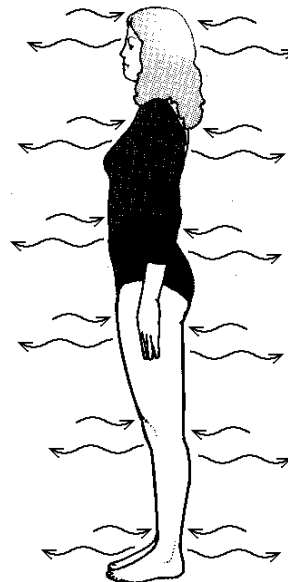
Dit kunnen we met de volgende proef aantonen. Zie de figuur hiernaast. Een straalkachel (alleen de gloeispiraal en de holle spiegel zijn getekend) straalt warmtestraling uit. In deze bundel houdt men eerst een vel papier (de kleur maakt niet uit) en daarna een stuk aluminiumfolie. Het vel papier wordt wel warm en het stuk aluminiumfolie niet.



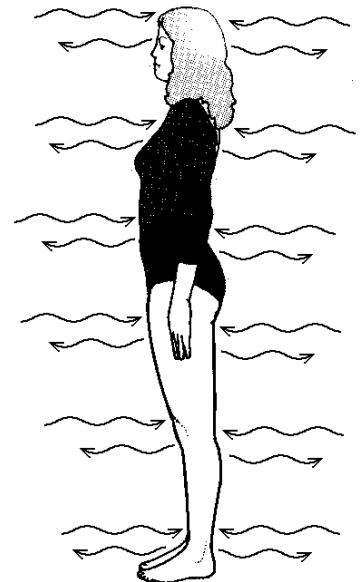
Stel dat een brandweerman een brandend huis in gaat. Dan trekt hij vaak eerst kleding aan die aan de buitenkant een glanzend metaallaagje bevat. Dit laagje kaatst het grootste deel van de warmtestraling, die op de brandweerman valt, terug. Daarmee wordt de brandweerman beschermd tegen hitte.

Afkoelen en opwarmen door warmtestraling

Als een voorwerp (of een mens) een hogere temperatuur heeft dan zijn omgeving, zal het meer straling uitzenden dan absorberen. Hierdoor koelt het voorwerp af. Zie de linker figuur hiernaast. Dit is bijvoorbeeld het geval als een slager een vriescel binnengaat (de slager zal ook warmte verliezen door geleiding en stroming van de lucht).



Afkoelen:
meer straling
uitzenden dan
absorberen.



Opwarmen:
minder straling
uitzenden dan
absorberen.

Als een voorwerp (of een mens) een lagere temperatuur heeft dan zijn omgeving, zal het minder straling uitzenden dan absorberen. Hierdoor warmt het voorwerp op. Zie de rechter figuur hiernaast. Dit is bijvoorbeeld het geval als een brandweerman een brandend huis binnengaat.

Een voorwerp kan worden geïsoleerd door zijn oppervlak van een glanzend metaallaagje te voorzien. Dit metaallaagje vermindert namelijk het uitzenden en het absorberen van warmtestraling.

Samenvatting

Elk voorwerp zendt warmtestraling uit. Zolang de temperatuur van het voorwerp niet te hoog is, wordt langgolvig infrarood (ver infrarood) uitgezonden. Hierbij geeft het voorwerp warmte af (het verliest warmte).

De mate waarin warmtestraling wordt uitgezonden hangt af van:

- de temperatuur van het voorwerp;
- de aard van het oppervlak van het voorwerp.

Hoe hoger de temperatuur is, des te meer warmtestraling wordt uitgezonden.

De meeste oppervlakken kunnen gemakkelijk warmtestraling uitzenden (althans het ver infrarood). Metaaloppervlakken vormen hierop een uitzondering.

Als er warmtestraling op een voorwerp valt, kan dit voorwerp de straling absorberen.

Hierbij neemt het voorwerp warmte op (het krijgt warmte).

De meeste oppervlakken kunnen gemakkelijk warmtestraling absorberen (althans het ver infrarood). Metaaloppervlakken vormen hierop weer een uitzondering.

In de praktijk zal een voorwerp gelijktijdig warmtestraling uitzenden en warmtestraling absorberen. Als het voorwerp dezelfde temperatuur heeft als zijn omgeving zullen de uitgezonden en de geabsorbeerde warmtestraling in evenwicht met elkaar zijn.

Opgaven bij § 2

Opgave 1

Welke soort straling zenden voorwerpen uit (bij elke temperatuur)?

Opgave 2

Hoe warmer een voorwerp is, des te _____ (vul in: meer of minder) warmtestraling dit voorwerp uitzendt.

Opgave 3

Infraroodopnames zijn foto's waarop je kunt zien hoeveel warmtestraling een voorwerp uitzendt. Warme oppervlakken zenden meer warmtestraling uit en worden lichter op de foto afgebeeld. Zie de afgebeelde foto. Leg uit wat je uit de foto kunt concluderen over de auto.



Opgave 4

Leg uit waarom het zeer onverstandig zou zijn om de verf van een radiator weg te schuren.

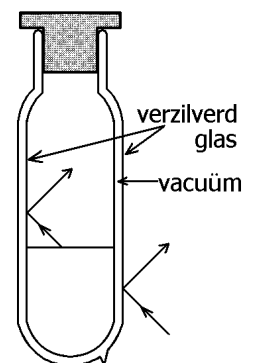
Opgave 5

Jan gaat een onverwarmde kamer van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in. Zal Jan daar meer warmtestraling uitzenden of absorberen?

Vervolgens gaat Jan een sauna van $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ in. Zal Jan daar meer warmtestraling uitzenden of absorberen?

Opgave 6

In een thermosfles blijft een hete vloeistof lang heet en blijft een koude vloeistof lang koud. In de figuur hiernaast is de doorsnede van een thermosfles getekend. De kunststof mantel is hierbij weggelaten. De fles heeft een dubbele glazen wand die aan beide kanten verzilverd is. De lucht tussen de wanden is weggepompt.



a.

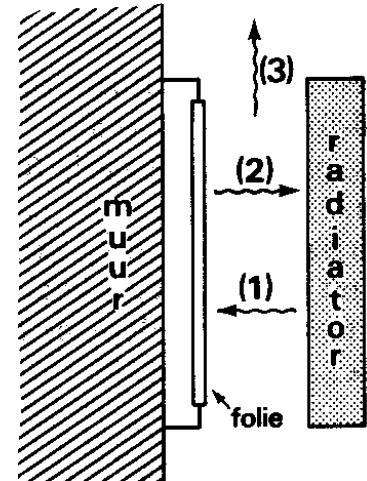
Welke vorm(en) van warmtetransport worden tegengegaan door het vacuüm?

b.

Welke vorm van warmtetransport wordt tegengegaan door de spiegelende laag?

Opgave 7

De muur achter de radiator van een CV neemt ook warmte op. Om dit zoveel mogelijk tegen te gaan, wordt radiatorfolie (verstevigd aluminiumfolie) achter de radiator gehangen. In de figuur hiernaast is deze situatie getekend. De pijltjes (1), (2) en (3) geven het warmtetransport aan. Daarbij geeft (2) het warmtetransport aan ten gevolge van weerkaatsing door de folie.



Welke vorm van warmtetransport vindt vooral plaats in de richting van pijltje (1)?

Welke vorm van warmtetransport vindt vooral plaats in de richting van pijltje (2)?

Welke vorm van warmtetransport vindt vooral plaats in de richting van pijltje (3)?

Opgave 8

Jan daalt af in de krater van een vulkaan. Hij wikkelt zich in met glanzend aluminiumfolie. Met welk doel doet Jan dat? Kies één van de volgende twee mogelijkheden.

- Om het uitzenden van warmtestraling tegen te gaan.
- Om het absorberen van warmtestraling tegen te gaan.

Een bejaarde man wordt op een winterse dag aangereden door een auto. Het ambulancepersoneel wikkelt hem in met glanzend aluminiumfolie.

Met welk doel doet het ambulancepersoneel dat? Kies één van de volgende twee mogelijkheden.

- Om het uitzenden van warmtestraling tegen te gaan.
- Om het absorberen van warmtestraling tegen te gaan.

Opgave 9

Een open haard verwarmt de kamer.

Leg uit waarom warmtetransport door geleiding hier een onbelangrijke rol speelt.

Leg uit waarom warmtetransport door stroming hier zeer onwenselijk is.

Welke vorm van warmtetransport blijft dus over voor het verwarmen van de kamer?

Opgave 10

Co komt na een wintersportvakantie thuis. Omdat de verwarming een week lang heeft uitgestaan, is zijn huis door en door koud. Als Co de verwarming aanzet, stijgt de luchttemperatuur in de huiskamer snel tot $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toch voelt de kamer daarna nog een tijdje koud aan. Verklaar dat.

Opgave 11

Twee even grote stalen kogels I en II hangen ieder aan een dun draadje. Kogel I is dof zwart; kogel II heeft een glanzend metaaloppervlak.

Vul op de volgende open plekken in: I of II, meer of minder, uitzendt of absorbeert
geval a

Beide kogels worden verwarmd tot 200 °C.

Kogel ___ koelt daarna sneller af omdat deze _____ warmtestraling _____.

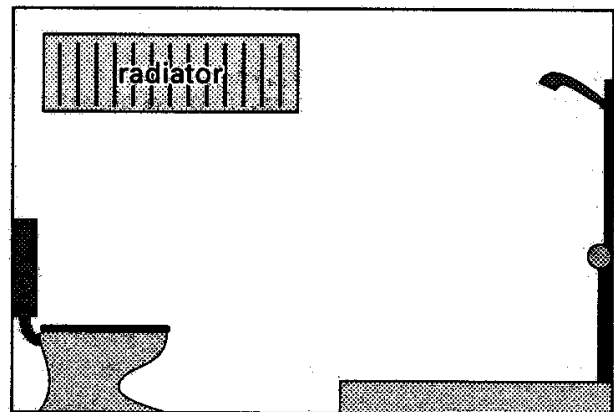
geval b

Beide kogels worden afgekoeld tot min 35 °C.

Kogel ___ warmt daarna sneller op omdat deze _____ warmtestraling _____.

Opgave 12

In een badkamer is een radiator aangebracht. Zie de figuur hiernaast. De radiator hangt onder het plafond in plaats van boven de vloer. Welke vorm van warmtetransport bij het verwarmen van de gehele badkamer wordt hierdoor sterk verminderd?



Welke vorm van warmtetransport bij het verwarmen van de gehele badkamer wordt door het hoog hangen van de radiator in verhouding juist veel belangrijker?

Welke vorm van warmtetransport bij het verwarmen van de gehele badkamer is en blijft onbelangrijk?

Opgave 13

Marc-Auguste Pictet (1752 – 1825) voerde een experiment uit met twee holle spiegels die meer dan zeven meter van elkaar stonden. Zie de figuur hiernaast. In het brandpunt van de rechter spiegel plaatste hij een thermometer. In het brandpunt van de linker spiegel plaatste hij een koud voorwerp (glas met ijs).

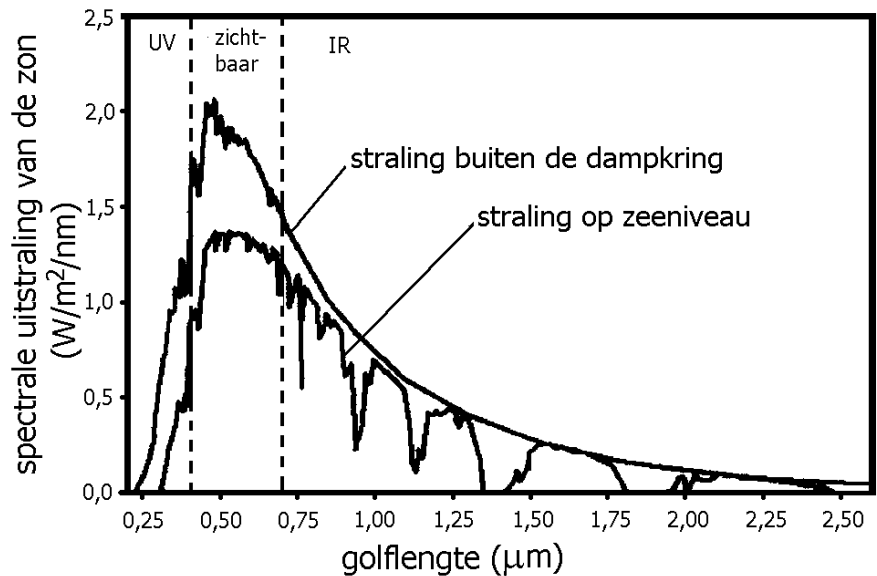


Hierdoor ging de thermometer minder aanwijzen. Verklaar dat.

§ 3 Broeikaseffect

Zonlicht

De zon zendt voortdurend elektromagnetische straling uit. Deze straling bevat een groot aantal golflengtes. Het diagram hiernaast geeft aan hoe de energie in zonnestraling is verdeeld over de verschillende golflengtes. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de straling buiten de dampkring en de straling op zeeniveau.



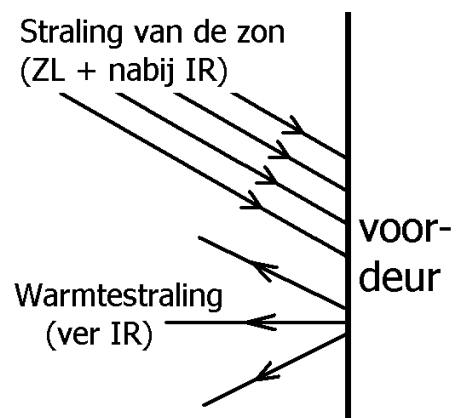
Uit het diagram blijkt dat er in verhouding maar weinig energie in het ultraviolette zonlicht (UV) zit. In de volgende tekst laten we dit dan ook buiten beschouwing. De rest van de energie is ongeveer gelijk verdeeld tussen het zichtbare zonlicht en het infrarode zonlicht (IR). Op zeeniveau bevat de infrarode zonnestraling (bijna) geen golflengtes boven 2,5 micrometer (afgekort 2,5 μm). De infrarode straling van de zon is dan ook kortgolvig infrarood, ook wel nabij infrarood genoemd.

Zonlicht dat een oppervlak verwarmt

Als de voordeur van een huis (of elk ander oppervlak zoals het dak van een auto) door de zon wordt beschenen, zal de deur een deel van de zonnestraling absorberen. Het gevolg hiervan is dat de deur warm wordt. Dat zal zeker het geval zijn als de deur donker geverfd is omdat de straling dan beter wordt geabsorbeerd. Een buitenschilder weet dit maar al te goed. Een wit geverfde buitendeur zal in de zon bijvoorbeeld 40 °C worden en een donkergroene buitendeur 65 °C.

De warmtestraling die de deur uitzendt is langgolvig infrarood. Dit is in de figuur hiernaast getekend. Door de hogere temperatuur neemt deze uitstraling toe. De stijging van temperatuur stopt pas als de afvoer van energie (door de uitstraling) even groot is als de aanvoer van energie (door het zonlicht).

De deur is lang niet zo heet als de zon. Dat is de reden waarom de deur langgolvig infrarood uitzendt en de zon kortgolvig infrarood. Langgolvig infrarood heeft een ander karakter dan kortgolvig infrarood. Het eerste gaat bijvoorbeeld niet door glas heen en het tweede wel. Hiervan wordt bij een broeikas gebruik gemaakt.



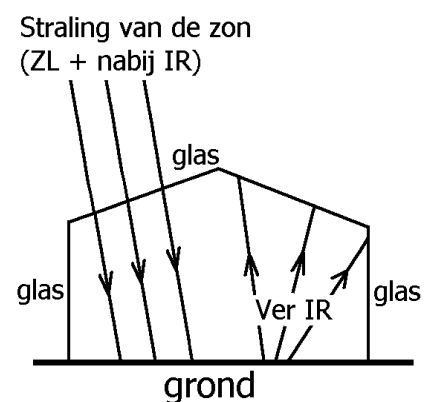
Temperatuur van het stralende voorwerp (valt buiten de lesstof)

De temperatuur van de oppervlakte van de zon ligt ruwweg 20 keer hoger dan de temperatuur van aardse voorwerpen (zoals muren, deuren, radiatoren en wijzelf). Met de temperatuur wordt hier de “absolute temperatuur” in “kelvin” bedoeld. Zo heeft de oppervlakte van de zon een temperatuur van 6000 kelvin en aardse voorwerpen een temperatuur van rond de 300 kelvin. Volgens de verschuivingswet van Wien heeft de piekwaarde van de door de zon uitgezonden straling een golflengte die 20 keer kleiner is dan de golflengte van de piekwaarde van de door aardse voorwerpen uitgezonden straling. Op grond van dit gegeven kunnen we het volgende zeggen. De golflengte van de piekwaarde van de zon is ongeveer 0,5 micrometer (aflezen in de bovenstaande grafiek). Dat betekent dat aardse voorwerpen straling uitzenden (het ver infrarood) met een piekwaarde van zeg 10 micrometer.

Broeikaseffect in een broeikas

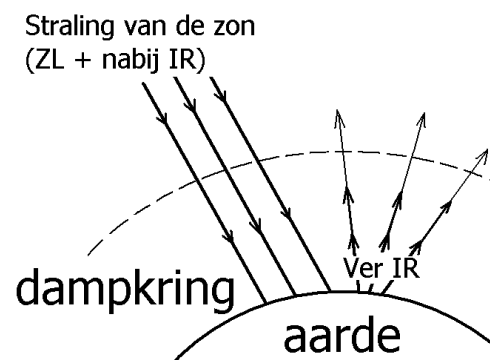
In bepaalde omstandigheden wordt het verlies van warmte door uitstraling verkleind. Dit heeft een extra temperatuurstijging tot gevolg. Dat noemen we het broeikaseffect. Hierbij maken we onderscheid tussen het broeikaseffect in een broeikas en het broeikaseffect in de dampkring.

Een broeikas is een glazen huis waarin planten groeien. Zie de figuur hiernaast. Glas laat het zonlicht (inclusief zijn kortgolvig infrarood) wel door. De door het grondoppervlak en planten uitgezonden warmtestraling (langgolvig infrarood) kan de broeikas niet verlaten want deze straling gaat niet door glas. Dit leidt tot een temperatuurstijging in de broeikas.



Broeikaseffect in de dampkring

Het zonlicht (inclusief zijn kortgolvig infrarood) bereikt het aardoppervlak en verwarmt dit. De door het aardoppervlak uitgezonden warmtestraling (weer langgolvig infrarood) wordt door bepaalde gassen in de dampkring zoals koolstofdioxide en methaan gedeeltelijk geabsorbeerd waardoor de dampkring warmer wordt. Daarom worden deze gassen ook wel broeikasgassen genoemd. De figuur hiernaast geeft het bovenstaande schematisch weer.



Tegenwoordig is er sprake van het “versterkte broeikaseffect”. Door onder andere het verbranden van steenkool, aardolie en aardgas is na het begin van de industriële revolutie steeds meer koolstofdioxide in de dampkring terechtgekomen. Dit leidt tot een toename van de temperatuur op aarde. Met alle gevolgen van dien.

Opgaven bij § 3

Opgave 1

Vul op de volgende open plekken een woord in. Kies uit “nabij”, “ver”, “wel” en “niet”.

Een personenauto staat in de zon.

Het zonlicht bevat niet alleen zichtbaar licht maar ook het _____ infrarood.

Dit gaat _____ door de ruiten van de auto heen.

De bekleding in de auto wordt warm en zendt het _____ infrarood uit.

Dit gaat _____ door de ruiten van de auto heen.

Opgave 2

Op een zonnige dag staat Jan buiten. Hij voelt de stralingswarmte van de zon in zijn gezicht. Jan neemt een glasplaat (bestemd als ruit voor een huis) en houdt deze voor zijn gezicht. Ook achter de glasplaat voelt hij de stralingswarmte van de zon. Verklaar dit.

Jan laat de zonnestralen nu lange tijd op de glasplaat vallen. Zal de glasplaat hier warm van worden? Verklaar je antwoord.

Opgave 3

Een straalkachel waarvan veel straling in het ver infrarood ligt is op een glazen deur gericht. Leg uit dat de straling achter de deur veel minder warm aanvoelt dan voor de deur.

Zal het glas van de deur na verloop van tijd warm worden als de straalkachel dit glas blijft beschijnen? Verklaar je antwoord.

Opgave 4

Bij het broeikaseffect wordt de _____ (vul in: instroom of uitstroom)

van energie

verkleind doordat _____ (vul een soort straling in) wordt geabsorbeerd.

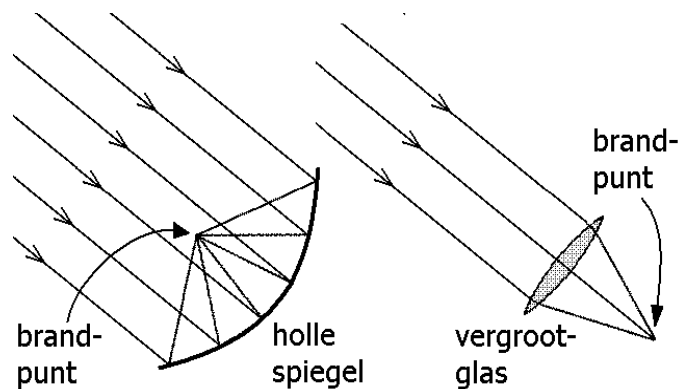
Opgave 5

Noem twee broeikasgassen.

Opgave 6

In de figuur hiernaast valt er zonlicht op een holle spiegel en op een vergrootglas. Zowel de holle spiegel als het vergrootglas brengen de stralen naar één punt: het brandpunt. Als je een stuk papier in het brandpunt houdt gaat dit branden.

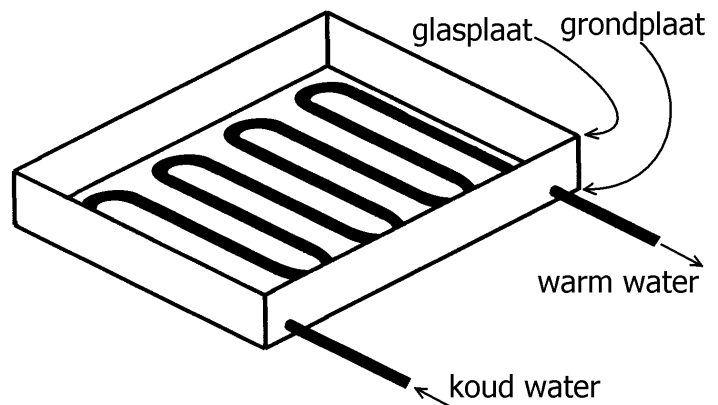
Een zwart stuk papier gaat sneller branden dan een wit stuk papier. Verklaar dit.



Het papier gaat sneller branden in het brandpunt van de holle spiegel dan in het brandpunt van het vergrootglas. Iemand bedenkt hier twee redenen voor namelijk:
Reden I: de holle spiegel vangt meer stralen van de zon op.
Reden II: het vergrootglas laat de infrarode straling van de zon niet door.
Welke reden(en) is/zijn juist?

Opgave 7

Met een zonnecollector kan water worden verwarmd als er zonlicht op valt. Een zonnecollector bestaat uit een bak waarin op de grondplaat (bodem) een koperen buis is gelegd. Door deze buis stroomt het water. De bak is afgedekt met een glasplaat. Zie de figuur hiernaast.



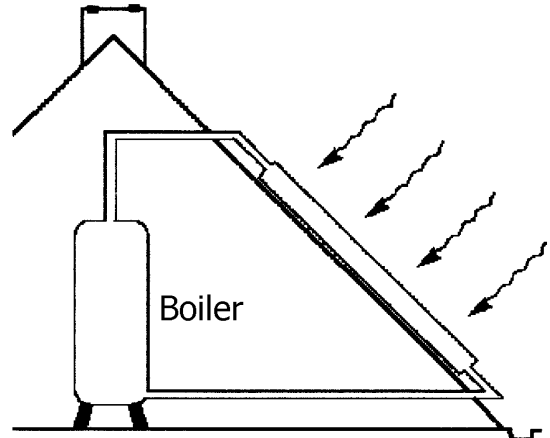
De grondplaat en de koperen buis zijn zwart geschilderd. Leg uit wat het nut daarvan is.

Leg uit wat het nut van de glasplaat is.

De onderkant van de grondplaat is geïsoleerd. Leg uit wat het nut daarvan is.

Opgave 8

Op het dak van een huis bevindt zich een zonnecollector. Hiermee wordt water uit een voorraadvat (boiler) verwarmd. Zie de figuur hiernaast waarin de installatie sterk vereenvoudigd is weergegeven. Geef in de figuur met pijlen de stroomrichting van het water aan.



Opgave 9

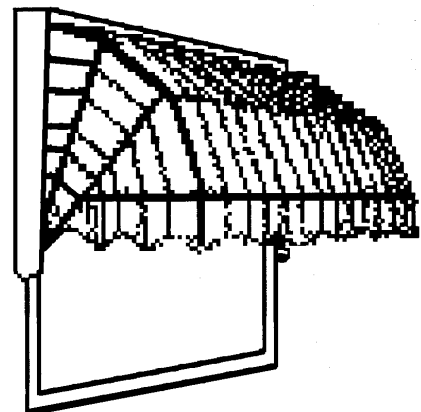
Vanaf de zon gerekend is Mercurius de eerste (dichtstbijzijnde) planeet en Venus de tweede planeet. Mercurius heeft geen dampkring. Venus heeft een dampkring die voornamelijk uit koolstofdioxide bestaat. Gemiddeld genomen is de temperatuur op Venus hoger dan de temperatuur op Mercurius. Verklaar dit.

Leg uit dat de dagtemperatuur van het Mercurius-oppervlak sterk verschilt van de nachttemperatuur.

Opgave 10

In de zomer kan de temperatuur in je huiskamer behoorlijk oplopen, zeker als de ramen op het zuiden staan. Om de warmte van de zon tegen te gaan, kun je markiezen neerlaten. Zie de figuur hiernaast. Als je geen markiezen hebt, kun je bijvoorbeeld de gordijnen dichtdoen.

Leg met de theorie van deze en de vorige paragraaf uit waarom markiezen meer effect hebben om de huiskamer koel te houden dan gordijnen.



§ 4 Soortelijke warmte

Joule als eenheid van warmte

Om aan te geven hoe groot de hoeveelheid warmte is, die van plaats A naar plaats B gaat, gebruiken we de eenheid "joule" (spreek uit zjoel). Vaak wordt joule afgekort met de hoofdletter J. Een joule is in het dagelijks leven een vrij kleine eenheid. Stel dat een dikke waterdruppel (van 0,08 gram) van 40 °C op je huid valt. Deze druppel geeft dan een warmte af van ongeveer 1 joule. Je voelt deze warmte nauwelijks.

Hoeveel warmte hoort nou eigenlijk precies bij één joule? De figuur hiernaast geeft daar antwoord op. Een blokje hout wordt met een constante snelheid over een lange tafel gesleept. Er komt dan wrijvingswarmte vrij op de plaats waar de twee oppervlakken langs elkaar schuren. In het geval dat de



trekkracht op blokje = 1 newton
afgelegde afstand door blokje = 1 meter
vrijkomende warmte onder blokje = 1 joule

dan is de vrijgekomen warmte precies 1 joule. Ter herinnering: één newton is net voldoende om een voorwerp van 100 gram omhoog te tillen.

Vroeger werd de calorie (afgekort: cal) vaak als eenheid van warmte gebruikt. Een calorie is de warmte die nodig is om 1 gram water 1 graad celsius in temperatuur te laten stijgen. Tegenwoordig wordt de calorie niet of nauwelijks meer gebruikt.

Soortelijke warmte van een stof

Om een stof zoals water of koper in temperatuur te laten stijgen, moet er warmte naar deze stof worden toegevoerd. De ene stof heeft echter meer warmte nodig om in temperatuur te stijgen dan de andere stof. IJzer heeft bijvoorbeeld meer warmte nodig dan tin. Dat blijkt onder andere uit de volgende getallen. Stel dat je 1 gram ijzer en 1 gram tin een temperatuurstijging van 1 graad celsius wilt geven. Dus bijvoorbeeld van 20 °C naar 21 °C of van 30 °C naar 31 °C. Dan moet je aan het ijzer 0,46 joule toevoeren en aan het tin 0,22 joule.

Om dit soort verschillen tussen stoffen aan te geven gebruiken we de grootte "soortelijke warmte". Zo is de soortelijke warmte van ijzer 0,46 joule per gram per graad en van tin 0,22 joule per gram per graad. Afgekort is dit voor ijzer 0,46 J/g°C en voor tin 0,22 J/g°C.

De algemene omschrijving van de soortelijke warmte is de volgende.

De soortelijke warmte van een stof is de hoeveelheid warmte, die deze stof opneemt per massa-eenheid van de stof (gram) en per graad temperatuurstijging.

Omdat een stof evenveel warmte opneemt bij het stijgen van de temperatuur als afstaat bij het dalen van de temperatuur, zou in de omschrijving van de soortelijke warmte het woord 'opneemt' kunnen worden vervangen door 'afstaat'.

In de volgende tabel is de soortelijke warmte voor een aantal stoffen gegeven.

Stof	IJzer	Koper	Tin	Zilver	Alcohol	Ether	Water
Soortelijke warmte (J/g°C)	0,46	0,39	0,22	0,24	2,43	2,30	4,18

De bovenstaande omschrijvingen van soortelijke warmte gelden alleen als de fase van de stof gelijk blijft. De stof mag bijvoorbeeld niet van vast naar vloeibaar gaan. Tijdens het smelten neemt de stof namelijk warmte op terwijl de temperatuur gelijk blijft.

Berekenen van de toegevoerde of afgevoerde warmte

In veel situaties wordt een hoeveelheid stof (zoals water of ijzer) opgewarmd of afgekoeld. In berekeningen die hierover gaan, gebruikt men een aantal grootheden en eenheden. Deze zijn in de onderstaande tabel opgesomd.

Grootheden	Eenheden
Q = warmte (opgenomen of afgestaan)	J = joule
c = soortelijke warmte	J/g°C = joule per gram per graad
m = massa	g = gram
ΔT = temperatuurverandering	°C = graad celsius

We spreken ΔT uit als 'delta tee'. In de natuurkunde wordt het deltasymbool Δ gebruikt om het verschil aan te geven tussen de beginwaarde en eindwaarde van een grootheid. Zie de volgende voorbeelden.

De temperatuur (T) van een stof stijgt van 20 °C naar 25 °C. Dan geldt $\Delta T = 5$ °C.

De luchtdruk (p) stijgt van 1,01 bar naar 1,04 bar. Dan geldt $\Delta p = 0,03$ bar.

De spanning (U) over een lamp stijgt van 4 V naar 6 V. Dan geldt $\Delta U = 2$ V.

Met de volgende formule kun je berekenen hoeveel warmte een hoeveelheid stof opneemt of afstaat bij een bepaalde temperatuurverandering.

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

Het volgende getallenvoorbeeld licht de formule toe.

Water heeft een soortelijke warmte van 4,18 joule per gram per graad celsius.

Als je 1 gram water 1 graad in temperatuur wilt laten stijgen, moet je aan het water dus 4,18 joule warmte toevoeren.

Als je in plaats van 1 gram 3 gram water 1 graad in temperatuur wilt laten stijgen, moet je natuurlijk drie keer zoveel warmte toevoeren. Dus $3 \times 4,18 \text{ J} = 12,54 \text{ J}$.

Als je tenslotte deze drie gram water niet 1 graad maar 4 graden in temperatuur wilt laten stijgen, moet je natuurlijk vier keer zoveel warmte toevoeren. Dus $4 \times 12,54 \text{ J} = 50,2 \text{ J}$.

Door gebruik te maken van de formule hadden we deze uitkomst in één keer kunnen vinden.

Controle: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \text{ J/g°C} \cdot 3 \text{ g} \cdot 4 \text{ °C} = 50,2 \text{ J}$

Eerste voorbeeld van een opgave

Een blokje koper met een massa van 165 gram heeft een temperatuur van 20 °C. Bereken hoeveel warmte moet worden toegevoerd om de temperatuur te laten stijgen tot 35 °C.

Uitwerking van deze opgave.

Gegeven: $c = 0,39 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ (zie tabel)
 $m = 165 \text{ g}$
 $\Delta T = 35 - 20 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Gevraagd: Q

Oplossing: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 0,39 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 165 \text{ g} \cdot 15 \text{ }^\circ\text{C} = 965 \text{ J}$

De drie andere vormen van de formule

De formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ kan in drie andere vormen geschreven worden namelijk:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \text{en} \quad m = \frac{Q}{c \cdot \Delta T} \quad \text{en} \quad \Delta T = \frac{Q}{c \cdot m}$$

Het gebruik van de laatste formule wordt in het volgende voorbeeld toegelicht.

Tweede voorbeeld van een opgave

Een brokje zilver van 22 gram en 20 °C wordt sterk afgekoeld. Het zilver staat hierbij 500 J aan warmte af. Bereken de eindtemperatuur.

Uitwerking van deze opgave.

Gegeven: $c = 0,24 \text{ J/g}^\circ\text{C}$
 $m = 22 \text{ g}$
 $T_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 $Q = 500 \text{ J}$

Gevraagd: T_E

Oplossing: $\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{500 \text{ J}}{0,24 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 22 \text{ g}} = 95^\circ\text{C}$
 $T_E = 20 - 95 = -75 \text{ }^\circ\text{C}$

Opgaven bij § 4

Opgave 1

In welke eenheid drukken we een hoeveelheid warmte tegenwoordig uit? _____

Welke eenheid voor warmte gebruikten we vroeger? _____

Opgave 2

Geef een omschrijving van de soortelijke warmte.

In welke eenheid drukken we de soortelijke warmte uit? _____

Opgave 3

Zoek in de tabel in de tekst de soortelijke warmte van alcohol op (vergeet achter het getal de eenheid niet!).

Opgave 4

Met welke formule kun je uitrekenen hoeveel warmte een hoeveelheid stof opneemt of afstaat bij een bepaalde temperatuurverandering?

Opgave 5

Vul een getal in: 1 calorie = _____ joule.

Tip: ga eerst na wat we onder 1 calorie verstaan.

Opgave 6

Bereken hoeveel warmte je aan 8 gram water moet toevoeren om dit water een temperatuurstijging van 20 graden celsius te geven. Schrijf je berekening duidelijk op (zie de voorbeelden in de tekst).

Opgave 7

Een blokje koper van 16 gram wordt verwarmd. Tijdens het verwarmen wordt er 40 joule aan het koper toegevoerd. Bereken de temperatuurstijging van het koper.

Opgave 8

Een hete ijzeren kogel met een massa van 220 g heeft een temperatuur van 190 °C. In de eerste minuut van het afkoelen staat de kogel 5566 J aan warmte af. Bereken de temperatuur van de kogel na deze minuut.

Opgave 9

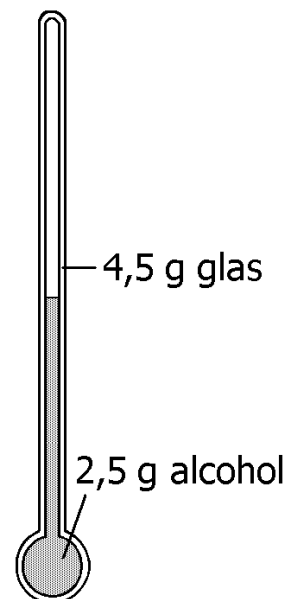
Een gouden ring van 22 g wordt verwarmd van 20 °C naar 35 °C. Hierbij wordt 42 J aan warmte toegevoerd. Bereken de soortelijke warmte van goud.

Opgave 10

Een hoeveelheid water staat 4000 J aan warmte af als het afkoelt van 40 °C naar 25 °C. Bereken de massa van het water.

Opgave 11

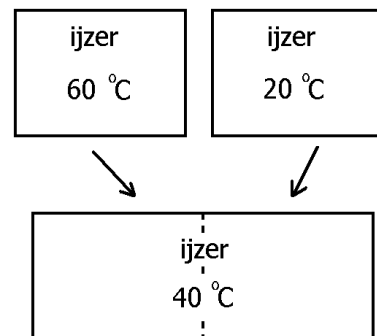
Een thermometer zoals hiernaast is afgebeeld hangt in een huiskamer. De kamertemperatuur stijgt van 15 °C naar 22 °C. Bereken hoeveel warmte de thermometer dan opneemt. Extra gegeven: de soortelijke warmte van de glassoort is 0,80 J/g°C.



§ 5 Beginsel van Black

Voorbeeld

In de figuur hiernaast brengen we een blok ijzer met een temperatuur van $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ in contact met een even groot blok ijzer van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dan gaat er warmte over van het warme naar het koude blok. Uiteindelijk wordt de temperatuur overal gelijk namelijk $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deze eindtemperatuur zit precies tussen de twee begintemperaturen in. Dit geldt trouwens alleen als er geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaats vindt.



De temperatuurdaling van het warme blok is gelijk aan de temperatuurstijging van het koude blok. Dat is begrijpelijk, omdat de warmte die het ene blok afgeeft even groot is als de warmte die het andere blok opneemt. Dit feit heet het beginsel van Black en wordt hieronder verder besproken.

Beginsel van Black

De Schotse arts, scheikundige en natuurkundige Joseph Black (1728 – 1799) was één van de grondleggers van de warmteleer. Hij verbeterde de techniek van het meten van warmte. Hij ontdekte onder andere dat smeltend ijs warmte opneemt bij gelijkblijvende temperatuur. Als scheikundige was hij de eerste die koolstofdioxide in pure vorm kon maken.

Het beginsel van Black kan als volgt worden geformuleerd.

Als er warmte overgaat van voorwerp A naar voorwerp B, dan is de door A afgestane hoeveelheid warmte gelijk aan de door B opgenomen hoeveelheid warmte.

Black leefde in een tijd waarin men zich afvroeg wat warmte nou eigenlijk was. Sommigen zagen warmte bijvoorbeeld als een soort ongrijpbare vloeistof die van voorwerp A naar voorwerp B kon stromen. Ook zocht men antwoord op de vraag of warmte en kou (gelijkwaardige) tegenpolen zijn of dat kou niets anders is dan het ontbreken van warmte. Net als zijn tijdgenoten kon Black daar geen antwoorden op geven. Nu weten we dat kou niets anders is dan het ontbreken van warmte en dat warmte nauw samenhangt met het bewegen van moleculen (dit zijn de bouwstenen van een stof).

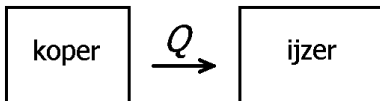
Voorbeeld van een opgave

Een warm blok koper van 400 g wordt in contact gebracht met een blok ijzer van 600 g en 20 °C. Na enige tijd is de temperatuur overal 38 °C. De soortelijke warmte van koper en van ijzer zijn 0,39 J/g°C en 0,46 J/g°C. Deze waarden staan ook in de tabel in de vorige paragraaf.

Bereken de begintemperatuur van het blok koper. Ga er daarbij vanuit dat er geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaats vindt.

Uitwerking van deze opgave

Het blijkt vaak handig om de gegevens overzichtelijk in een schema te zetten zoals hieronder is gedaan.



$$\begin{array}{ll} c = 0,39 \text{ J/g}^\circ\text{C} & c = 0,46 \text{ J/g}^\circ\text{C} \\ m = 400 \text{ g} & m = 600 \text{ g} \\ T_B = \text{hoog} & T_B = 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_E = 38 \text{ }^\circ\text{C} & T_E = 38 \text{ }^\circ\text{C} \end{array}$$

Onder de twee blokken staan de bijbehorende gegevens. Hierbij stellen T_B de begintemperatuur en T_E de eindtemperatuur voor. De pijl in het schema geeft de richting van de warmtestroom aan. De hoeveelheid warmte die 'oversteekt' wordt met Q aangegeven.

Allereerst berekenen we hoeveel warmte het ijzer heeft opgenomen.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 0,46 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 600 \text{ g} \cdot (38^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 4968 \text{ J}$$

Nu kunnen we de temperatuurverandering van het koper berekenen.

$$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{4968 \text{ J}}{0,39 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 400 \text{ g}} = 31,8^\circ\text{C}$$

Ten slotte kunnen we de begintemperatuur van het koper berekenen.

$$T_B = 38 + 31,8 = 70 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (afgerond).}$$

Opgaven bij § 5

Opgave 1

Wat verstaan we onder het beginsel van Black?

Opgave 2

Twee even zware blokken lood worden met elkaar in contact gebracht. Het eerste blok heeft een temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en het tweede blok van $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na enige tijd is de temperatuur overal gelijk. De blokken wisselen alleen warmte met elkaar uit; niet met de omgeving. Wat is de eindtemperatuur van de blokken? Licht je antwoord toe.

Opgave 3

Een heet blokje ijzer van 300 g wordt met een koud blokje koper van 400 g in contact gebracht. Het laatste blokje heeft een temperatuur van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na enige tijd is de temperatuur in beide blokjes gelijk namelijk $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Er heeft hierbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaatsgevonden.

Bereken hoeveel warmte het blokje koper heeft opgenomen.

Bereken de begintemperatuur van het ijzerblokje.

Opgave 4

Jan vult een glazen beker tot de rand met 300 g kokend water (dus van 100°C). De begintemperatuur van de beker bedraagt $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na enige tijd is de temperatuur in de beker en het water overal $89\text{ }^{\circ}\text{C}$. De soortelijke warmte van het glas is $0,80\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$.

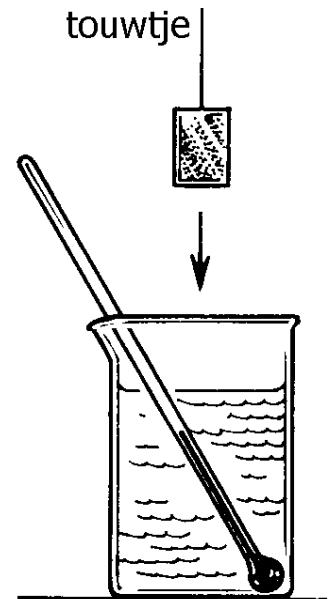
Bereken de massa van de beker als er geen warmte naar de omgeving zou zijn weggeloeid.

In werkelijkheid gaat er wel warmte naar de omgeving. Zal de echte massa van de beker daardoor hoger of lager zijn dan de hiervoor berekende waarde? Licht je antwoord toe.

Opgave 5

Een blokje lood van 130 g en $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ wordt ondergedompeld in een bekeerglas dat gevuld is met 130 g water van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zie de figuur hiernaast. Na goed roeren wordt de eindtemperatuur $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hierbij nemen het (lege) bekeerglas en de thermometer samen 210 J aan warmte op.

Bereken de soortelijke warmte van lood. Neem daarbij aan dat er geen warmte-uitwisseling met de omgeving heeft plaatsgevonden.



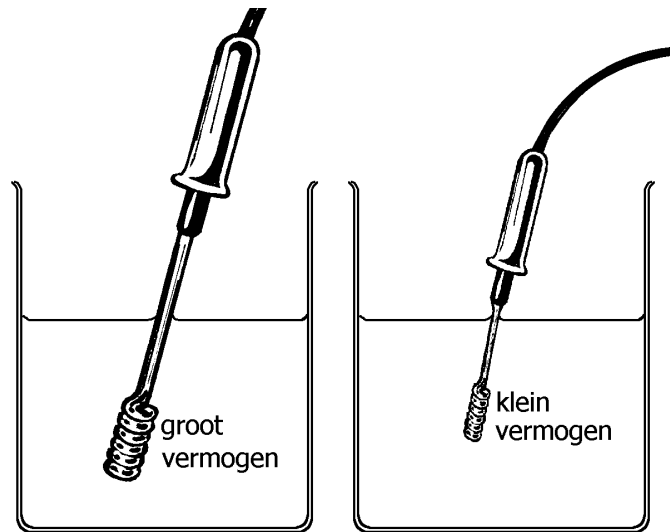
Opgave 6 (hierbij is iets meer wiskunde nodig)

Een blokje tin van 200 g en $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ wordt met een blokje zilver van 150 g en $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ in contact gebracht. Na enige tijd is de temperatuur in de blokken gelijk. Bereken deze temperatuur. Ga er daarbij vanuit dat er geen warmte-uitwisseling met de omgeving heeft plaatsgevonden.

§ 6 Vermogen van een verwarmingsbron

Voorbeeld

In de figuur hiernaast zijn twee bekgelazen gevuld met een gelijke hoeveelheid kraanwater. In elk bekglas verwarmt een dompelaar het water. Het water in het linker bekglas zal eerder koken dan het water in het rechter bekglas. Dat komt doordat de linker dompelaar per seconde meer warmte aan het water afgeeft dan de rechter dompelaar. We zeggen dan dat het vermogen van de linker dompelaar groter is.



Het vermogen drukken we uit in watt.

Stel bijvoorbeeld dat per seconde de linker dompelaar 600 joule en de rechter dompelaar 200 joule aan warmte afgeeft. Dan is het vermogen van de linker dompelaar 600 watt en van de rechter dompelaar 200 watt.

Theorie

Het geleverde vermogen van een verwarmingsbron kan als volgt omschreven worden. **Het (geleverde) vermogen van een verwarmingsbron is de afgegeven warmte per tijdseenheid.**

De volgende tabel geeft een overzicht van de grootheden en eenheden die hier van belang zijn.

Grootheden	Eenheden
Q = warmte	J = joule
t = tijdsduur	s = seconde
P = vermogen	W = watt

Het symbool voor vermogen is P (van het Engelse woord “power”). De eenheid van vermogen is “joule per seconde”. Dit wordt “watt” genoemd (afgekort W).

Het verband tussen het vermogen P, de warmte Q en de tijdsduur t is:

$$P = \frac{Q}{t}$$

Deze formule kan in twee andere vormen geschreven worden namelijk:

$$Q = P \times t \quad \text{en} \quad t = \frac{Q}{P}$$

Stel bijvoorbeeld dat een verwarmingsbron gedurende 4 seconde 800 joule aan warmte afgeeft. Dan geldt voor het vermogen:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{800 \text{ J}}{4 \text{ s}} = 200 \text{ J/s} = 200 \text{ W} .$$

Voorbeeld van een opgave

Een dompelaar van 300 watt verwarmt een bekeerglas met kraanwater gedurende 5 minuten. In deze tijd loopt de temperatuur van het water op van 20 °C naar 80 °C. Bereken hoeveel gram water in het bekeerglas zit. Verwaarloos de warmteopname door het bekeerglas.

Uitwerking van deze opgave.

Gegeven: $P = 300 \text{ W}$
 $t = 5 \text{ minuten} = 300 \text{ s}$
 $\Delta T = 80 - 20 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
 $c = 4,18 \text{ J/g}^\circ\text{C}$

Gevraagd: m

Oplossing: $Q = P \cdot t = 300 \text{ W} \cdot 300 \text{ s} = 90000 \text{ J}$

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta T} = \frac{90000 \text{ J}}{4,18 \text{ J/g}^\circ\text{C} \cdot 60^\circ\text{C}} = 359 \text{ g}$$

Opgaven bij § 6

Opgave 1

Geef de formule waarmee je het vermogen van een verwarmingsbron kunt uitrekenen uit de afgegeven warmte en de tijdsduur.

Opgave 2

Wat is de eenheid van vermogen? Geef ook de afkorting.

Opgave 3

Een radiator in de huiskamer geeft gedurende 20 s een warmte van 80.000 J af. Bereken het vermogen van deze radiator.

Opgave 4

Een straalkachel met een vermogen van 1 kW (= 1 kilowatt = 1000 watt) geeft in een bepaalde tijdsduur een warmte af van 1 kJ (= 1 kilojoule = 1000 joule). Bereken deze tijdsduur.

Opgave 5

Een straalkachel met een vermogen van 2 kW geeft in een bepaalde tijdsduur een warmte af van 16 kJ. Bereken deze tijdsduur.

Opgave 6

Een volwassen mens, die geen lichamelijke inspanning verricht, geeft per seconde ongeveer 100 joule aan warmte aan zijn omgeving af. Je kunt een mens dus beschouwen als een warmtebron van 100 W. Hiermee kun je de volgende vraag beantwoorden. Bereken hoeveel warmte een klas van 30 leerlingen (die we voor het gemak als volwassenen beschouwen) afgeeft in 3 minuten.

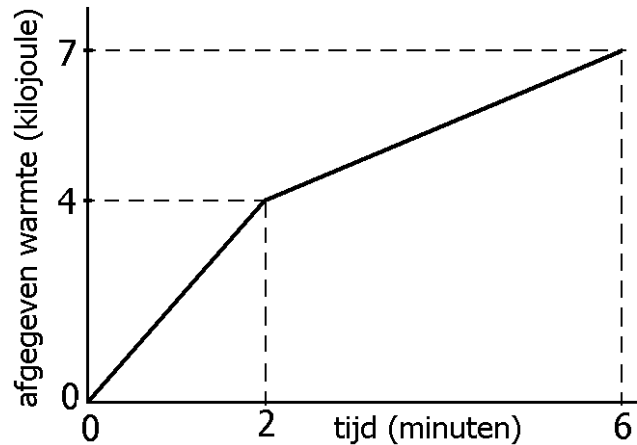
Opgave 7

Warmtebron A produceert 67 kJ aan warmte in een kwartier.
Warmtebron B produceert 0,6 J aan warmte in een seconde.
Bereken welke bron meer vermogen levert.

Opgave 8

Piet laat zijn olielamp in totaal zes minuten branden. Na twee minuten verandert hij de hoogte van de vlam. In de figuur hiernaast is de door de vlam afgegeven warmte als functie van de tijd weergegeven.

Bepaal het vermogen van de vlam in de eerste twee minuten.



Bepaal het vermogen van de vlam in de laatste vier minuten.

Opgave 9

Een dompelaar van 400 watt verwarmt een bekersglas met kraanwater gedurende 4 minuten. In deze tijd loopt de temperatuur van het water op van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ naar $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bereken hoeveel gram water in het bekersglas zit. Verwaarloos de warmteopname door het bekersglas.

Opgave 10

Petra vult haar afwasteil met warm water. In een minuut stroomt er 2,5 liter water van $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ uit de kraan. Het water is oorspronkelijk $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ en wordt door een geiser verwarmd. Bereken het vermogen van de geiser. Hulp: 1 liter water heeft een massa van 1 kilogram.