
Opgave 1

Bij warmtetoevoer neemt de gemiddelde kinetische energie van de moleculen toe.

Opgave 2

Voortdurend met een hamer op ijzer slaan geeft temperatuurverhoging.

Opgave 3

- a Eenheid van warmte : Joule.
 - b 1 calorie = 4,18 Joule
-

Opgave 4

Tijdens het smelten wordt de toegevoerde energie gebruikt om de bindingen te verbreken, de potentiële energie van de deeltjes neemt dan toe. De kinetische energie niet.

Opgave 5

Bij het absolute nulpunt (0 K, -273,14 °C) houdt alle beweging op. Tenminste, volgens de klassieke mechanica.

Opgave 6

Brownse beweging is de beweging die onder een microscoop te zien is van heel kleine deeltjes, vetdruppeltjes, stuifmeelkorrels. De deeltjes moeten klein genoeg zijn om beïnvloed te worden door molecuulbeweging van de vloeistof waar ze in zitten.

Opgave 7

- a *Geleiding* is warmtetransport door een stof door middel van botsingen tussen de deeltjes van de stof.
 - b *Stroming* is warmtetransport doordat deeltjes met veel bewegingsenergie zich in een stof verplaatsen, warmere deeltjes bewegen omhoog, koude omlaag.
 - c *Straling* is transport van warmte door middel van elektromagnetische golven
-

Opgave 8

- a Alle metalen zijn goede geleiders. Vooral: zilver, koper, aluminium.
 - b Bijna alle kunststoffen zijn slechte warmtegeleiders, ook glas, hout, steen.
-

Opgave 9

Warmtestroom gaat via deeltjes. Behalve bij warmtestraling.

Opgave 10

Warmte stroomt van warm (hoge temperatuur) naar minder warm (lage temperatuur).

Opgave 11

In een vaste stof kunnen de deeltjes zich vrijwel niet verplaatsen. Daardoor is er geen 'deeltjesstroom'. Deze is wel nodig om de warmte als *stroming* te transporteren.

Opgave 12

Wit weerkaatst licht en vaak ook infrarood licht. Dus stralingsenergie wordt niet gemakkelijk opgenomen. De koelkast blijft daardoor gemakkelijker koel.

Opgave 13

Je zou verwachten: zwart. Toch is dat niet juist. Voor uitgestraalde warmte maakt de kleur niet zoveel uit. Belangrijk is wel dat een radiator geveerd is. Blank metaal straalt weinig infrarood uit. Daarvoor zijn moleculen nodig, die moleculen zitten in de radiatorlak.

Opgave 14

Sneeuw bevat stilstaande lucht en belemmert warmtestroming. Sneeuw isoleert dus.

Opgave 15

- a Stilstaande lucht isoleert. Weinig warmtestroming en weinig geleiding. Gasdeeltjes raken elkaar wel maar niet voortdurend zoals in een vaste stof of vloeistof.
 - b Hoe meer stilstaande lucht des te beter voor de isolatie.
 - c Een spouwmuur isoleert door de stilstaande lucht. Glaswol of schuim erin isoleert nog beter omdat de lucht nog effectiever stilstaat.
-

Opgave 16

Ja. Een thermosfles isoleert warm van koud maar natuurlijk ook koud van warm.

Opgave 17

Voorwerpen zijn in 'thermisch evenwicht' als zij dezelfde temperatuur hebben.

Opgave 18

Koper verwarmen

Gegeven: $m = 0,140$ kg, $\Delta T = 15,0$ K, $c = 387$ J/(kg · K) (Binas)

Gevraagd: Q

Oplossing: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q = 0,140 \times 387 \times 15,0 = \mathbf{813\ J}$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

Natuurkunde voor het MBO, Deel 2 ISBN 9789491764431, 1^e druk, Uitgeverij Syntax Media
Hoofdstuk 4 Warmte. bladzijde 3

Opgave 19

Methanol verwarmen

Gegeven: $m = 0,500$ kg, $t_b = 12,0$ °C, $t_e = 16,0$ °C $c_{\text{methanol}} = 2,50 \cdot 10^3$ J/(kg · K) (Binas)

Gevraagd: Q

Oplissing: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q = 0,500 \times 2,50 \cdot 10^3 \times 4,0 \rightarrow Q = \mathbf{5,0 \cdot 10^3 J}$

Opgave 20

Water verwarmen

Gegeven: $m = 0,050$ kg, $Q = 3260$ J, $c = 4,18 \cdot 10^3$ J/(kg · K) (Binas)

Gevraagd: ΔT

Oplissing: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow 3260 = 0,050 \times 4,18 \cdot 10^3 \times \Delta T \rightarrow \Delta T = \mathbf{15,6$ °C

Opgave 21

Soortelijke warmte van een stof.

Gegeven: Stof X, $m = 0,460$ kg, $Q = 5400$ J, $\Delta T = 70,0$ K

Gevraagd: c_x

Oplissing: $Q = m \cdot c_x \cdot \Delta T \rightarrow 5400 = 0,460 \times c_x \times 70,0 \rightarrow c_x = \mathbf{168 J/(kg \cdot K)}$

Opgave 22

Massa blokje ijzer.

Gegeven: Blokje Fe, $Q = 9330$ J, $t_b = 25,0$ °C, $t_e = 53,0$ °C, $c_{\text{Fe}} = 0,46 \cdot 10^3$ J/(kg · K)

Gevraagd: m ?

Oplissing: $Q = m \cdot c_{\text{Fe}} \cdot \Delta T \rightarrow 9330 = m \times 0,46 \cdot 10^3 \times (53,0 - 25,0) \rightarrow m = \mathbf{0,72 kg}$

Opgave 23

Warmtecapaciteit 80 g zand.

Gegeven: zand 0,080 kg, $c_{\text{zand}} = 0,80 \cdot 10^3$ J/(kg · K)

Gevraagd: C

Oplissing: $C = m \cdot c \rightarrow C = 0,080 \times 0,80 \cdot 10^3 = \mathbf{64 J/K}$

Opgave 24

Soortelijke warmte aluminium.

Gegeven: aluminium 0,044 kg, $C = 39$ J/K

Gevraagd: c_{Al}

Oplissing: $C = m \cdot c_{\text{Al}} \rightarrow c_{\text{Al}} = 39 / 0,044 = \mathbf{8,9 \cdot 10^2 J/(kg \cdot K)}$

Opgave 25

Blokje ijzer.

Gegeven: ijzer, $C = 16$ J/K, $c_{\text{Fe}} = 4,60 \cdot 10^3$ J/(kg · K)(Binas)

Gevraagd: m

Oplissing: $C = m \cdot c_{\text{Fe}} \rightarrow m = 16 / 4,60 \cdot 10^3 = 0,035$ kg $\rightarrow \mathbf{35 g}$

Opgave 26

Thermometer.

Gegeven: glas: 12,0 g, 8,0 g kwik, $c_{\text{glas}} = 0,8 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas),
 $c_{\text{kwik}} = 0,138 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas),

Gevraagd: C

Oplossing: $C = m_{\text{glas}} \cdot c_{\text{glas}} + m_{\text{kwik}} \cdot c_{\text{kwik}} \rightarrow$
 $C = 0,012 \times 0,8 \cdot 10^3 + 0,008 \times 0,138 \cdot 10^3 = 9,6 + 1,2 = 11 \text{ J/K}$

Opgave 27

Pan

Gegeven: pan C = 500 J/K, water m = 0,400 kg, $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 100 \text{ }^\circ\text{C}$
 $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)

Gevraagd: Q

Oplossing: $Q = m \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) + C_{\text{pan}} \cdot (t_e - t_b)$
 $Q = 0,400 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (100 - 20) + 500 \times (100 - 20) \rightarrow$
 $Q = 1,34 \cdot 10^5 + 4,0 \cdot 10^4 = 1,7 \cdot 10^5 \text{ J}$

Opgave 28

Calorimeter

Gegeven: C = 50 J/K, water m = 0,150 kg, $t_b = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 22,4 \text{ }^\circ\text{C}$
Q = 4000 J

Gevraagd: c_{water}

Oplossing: $Q = m \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) + C_{\text{cal}} \cdot (t_e - t_b)$
 $4000 = 0,150 \times c_{\text{water}} \times (22,4 - 16,5) + 50 \times (22,4 - 16,5) \rightarrow$
 $4000 = 0,885 \times c_{\text{water}} + 295 \rightarrow c_{\text{water}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

Opgave 29

Bepaling c_{water} .

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 60 \text{ J/K}$, water, $m_{\text{water}} = 0,295 \text{ kg}$, $t = 7,0 \text{ min}$, $U = 12,5 \text{ V}$, $I = 1,9 \text{ A}$, $t_b = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}$

Gevraagd: c_{water}

Oplossing: $Q = U \cdot I \cdot t = m \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) + C_{\text{cal}} \cdot (t_e - t_b)$
 $12,5 \times 1,9 \times 7,0 \times 60 = 0,295 \times c_{\text{water}} \times (24,2 - 16,5) + 60 \times (24,2 - 16,5) \rightarrow$
 $9975 = 2,272 \times c_{\text{water}} + 462 \rightarrow c_{\text{water}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

Opgave 30

Calorimeter met water.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 75 \text{ J/K}$, water, $m_{\text{water}} = 0,180 \text{ kg}$, Q = 4400 J, $t_b = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas),

Gevraagd: t_e

Oplossing: $Q = m \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) + C_{\text{cal}} \cdot (t_e - t_b)$
 $4400 = 0,180 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (t_e - 16,5) + 75 \times (t_e - 16,5) \rightarrow$
 $4400 = 752 \times t_e - 1,24 \cdot 10^4 + 75 \times t_e - 1,23 \cdot 10^3 \rightarrow$

$$1,80 \cdot 10^4 = 827 \times t_e \rightarrow t_e = 21,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Opgave 31

Calorimeter met 250 g water.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 50 \text{ J/K}$, water, $m_{\text{water}} = 0,250 \text{ kg}$, $U = 12,0 \text{ V}$, $I = 2,00 \text{ A}$, $t = 15,0 \text{ min}$, $t_b = 15,8 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas),

Gevraagd: t_e

Oplossing: $Q = U \cdot I \cdot t = m \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) + C_{\text{cal}} \cdot (t_e - t_b)$
 $Q = 12,0 \times 2,00 \times 15 \times 60 = 0,250 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (t_e - 15,8) + 50 \times (t_e - 15,8) \rightarrow$

$$2,16 \cdot 10^4 = 1,045 \cdot 10^3 t_e - 1,65 \cdot 10^4 + 50 t_e - 790 \rightarrow$$

$$3,89 \cdot 10^4 = 1,095 \cdot 10^3 t_e \rightarrow t_e = 35,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Het wordt iets overzichtelijker als je niet rekent met $(t_e - 15,8)$ maar met ΔT , je komt dan uit op:

$$1,095 \cdot 10^3 \Delta T = 2,16 \cdot 10^4 \rightarrow \Delta T = 19,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_e = 15,8 + 19,7 = 35,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Opgave 32

Calorimeter met 150 g water.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 75 \text{ J/K}$, water, $m_{\text{water}} = 0,150 \text{ kg}$, $U = 15,0 \text{ V}$, $I = 2,0 \text{ A}$, $t_b = 18,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 25,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas),

Gevraagd: t (tijd)

Oplossing: $\Delta T = 7,0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = U \cdot I \cdot t = m \cdot c_{\text{water}} \cdot \Delta T + C_{\text{cal}} \cdot \Delta T$$

$$Q = 12,0 \times 2,50 \times t = 0,150 \times 4,18 \cdot 10^3 \times 7,0 + 75 \times 7,0 \rightarrow$$

$$30,0 \times t = 4914 \rightarrow t = \mathbf{164 \text{ s}} \text{ (2 min 44 s)}$$

Opgave 33

Soortelijke warmte $\times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

H ₂ O	4,18	steen	0,75
glycerol	2,43	gietijzer	0,50
ijs	2,2	Cu	0,387
perspex	1,5	Ag	0,24
Al	0,88	Hg	0,138
glas	0,8	Pb	0,128

Opgave 34

Soortelijke warmte van koper.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 120 \text{ J/K}$, $m_{\text{water}} = 0,100 \text{ kg}$, $t_{b, \text{H}_2\text{O}} = 19,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 23,8 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas), $m_{\text{Cu}} = 0,0872 \text{ kg}$, $t_{b, \text{Cu}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Gevraagd: c_{Cu}

Oplossing: De opgenomen warmte door de calorimeter en het water is gelijk aan de warmte die het koper afstaat:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (t_e - t_b) + C \cdot (t_e - t_b) = m_{\text{Cu}} \cdot c_{\text{Cu}} \cdot (t_{\text{Cu}} - t_e) \rightarrow \text{invullen:}$$

$$0,100 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (23,8 - 19,0) + 120 \times (23,8 - 19,0) = 0,0872 \times c_{\text{Cu}} \times (100 - 23,8)$$

$$2006 + 576 = 6,64 \times c_{\text{Cu}} \rightarrow c_{\text{Cu}} = \mathbf{3,9 \cdot 10^2 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}}$$

Opgave 35

Metalen cilinder en calorimeter met water.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 75 \text{ J/K}$, $m_{\text{water}} = 0,200 \text{ kg}$, $t_{\text{b, H}_2\text{O}} = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{e}} = 21,3 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas), $m_{\text{metaal}} = 0,0631 \text{ kg}$, $t_{\text{b, metaal}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Gevraagd: a) c_{metaal} b) Welk metaal?

Oplossing:

a De opgenomen warmte door de calorimeter en het water is gelijk aan de warmte die het metaal afstaat:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (t_{\text{e}} - t_{\text{b}}) + C \cdot (t_{\text{e}} - t_{\text{b}}) = m_{\text{metaal}} \cdot c_{\text{metaal}} \cdot (t_{\text{metaal}} - t_{\text{e}}) \rightarrow \text{invullen:}$$

$$0,200 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (21,3 - 16,5) + 75 \times (21,3 - 16,5) = 0,0631 \times c_{\text{metaal}} \times (100 - 21,3)$$

$$4013 + 360 = 4,97 c_{\text{metaal}} \rightarrow c_{\text{metaal}} = \mathbf{8,8 \cdot 10^2 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}}$$

b Aluminium

Opgave 36

Metalen cilinder en calorimeter met vloeistof.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 60 \text{ J/K}$, $m_{\text{vloeistof}} = 0,150 \text{ kg}$, $t_{\text{b}} = 15,2 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{e}} = 24,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $m_{\text{Cu}} = 0,0967 \text{ kg}$, $t_{\text{b, metaal}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{Cu}} = 387 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

Gevraagd: a) $c_{\text{vloeistof}}$ b) Welke vloeistof?

Oplossing:

a De opgenomen warmte door de calorimeter en de vloeistof is gelijk aan de warmte die het metaal afstaat:

$$m_{\text{vloeistof}} \cdot c_{\text{vloeistof}} \cdot (t_{\text{e}} - t_{\text{b}}) + C \cdot (t_{\text{e}} - t_{\text{b}}) = m_{\text{Cu}} \cdot c_{\text{Cu}} \cdot (t_{\text{Cu}} - t_{\text{e}}) \rightarrow \text{invullen:}$$

$$0,150 \times c_{\text{vloeistof}} \times (24,0 - 15,2) + 60 \times (24,0 - 15,2) = 0,0967 \times 387 \times (100 - 24,0)$$

$$1,32 \times c_{\text{vloeistof}} + 528 = 2,84 \cdot 10^3 \rightarrow c_{\text{vloeistof}} = \mathbf{1,8 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}}$$

b Vergelijk vloeistoffen Binastabel en de conclusie is: **terpentijn**.

Opgave 37

Centrale verwarming.

Gegeven: Door radiator stroomt 90 kg water per uur, $t_{\text{b}} = 80,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{e}} = 60,0 \text{ }^\circ\text{C}$,
 $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)

Gevraagd: Q per uur.

Oplossing: Warmte-afgifte radiator (per uur): $Q = m_{\text{water}} \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_{\text{e}} - t_{\text{b}})$

$$Q = 90 \cdot 4,18 \cdot 10^3 \times (80,0 - 60,0) = \mathbf{7,5 \cdot 10^6 \text{ J}}$$

Opgave 38

Warmte-overdracht voornamelijk:

- a vaste stof: door botsingen van deeltjes, *geleiding*
- b vloeistof: door menging van deeltjes, *stroming*

c gas: door opvangen van straling en door mengen en botsen, *stroming en straling*

Opgave 39

Een calorimeter is een vat dat geïsoleerd is met een isolerende stof bijvoorbeeld polystyreenschuim (piepschuim). Daarnaast zorgt men ervoor de start-temperatuur onder de omgevingstemperatuur te kiezen, zó dat de eindtemperatuur even veel boven de omgevingstemperatuur komt. Met de bedoeling dat warmteverlies en warmte-opname elkaar compenseren.

Opgave 40

Warmtecapaciteit calorimeter.

Gegeven: meting 1: elektrische warmte toevoer, $m_{\text{water}} = 0,100 \text{ kg}$, $t_b = 16,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 26,0 \text{ }^\circ\text{C}$

meting 2: Precies gelijke hoeveelheid warmte toegevoerd, $m_{\text{water}} = 0,150 \text{ kg}$, $t_b = 16,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Gevraagd: $C_{\text{calorimeter}}$

Oplossing: Tweemaal gelijke hoeveelheid warmte, dus:

$$m_{\text{water}1} \cdot c_{\text{water}1} \cdot (t_e - t_b) + C \cdot (t_e - t_b) = m_{\text{water}2} \cdot c_{\text{water}2} \cdot (t_e - t_b) + C \cdot (t_e - t_b)$$
$$0,100 \times 4,18 \cdot 10^3 \times 10,0 + C \times 10,0 = 0,150 \times 4,18 \cdot 10^3 \times 6,8 + C \times 6,8$$
$$4180 + 10 C = 4264 + 6,8 C \rightarrow 3,2 C = 83,6 \rightarrow C = 26 \text{ J/K}$$

Opgave 41

Gietijzeren pan.

Gegeven: $m_{\text{gietijzer}} = 0,750 \text{ kg}$, $m_{\text{water}} = 0,500 \text{ kg}$, $t_b = 18,0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{gietijzer}} = 0,50 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)

$$P = 1200 \text{ W}$$

Gevraagd: t (tijd om water aan de kook te brengen).

Oplossing: Bij $100 \text{ }^\circ\text{C}$ gaat water koken dus de eindtemperatuur is $100 \text{ }^\circ\text{C}$

De warmte-ontwikkeling is: $Q = P \cdot t$

Gietijzer neemt warmte op: $m_{\text{gietijzer}} \cdot c_{\text{gietijzer}} \cdot (t_e - t_b)$

Water neemt warmte op: $m_{\text{water}1} \cdot c_{\text{water}1} \cdot (t_e - t_b)$

$$Q_{\text{totaal}} = 0,750 \times 0,50 \cdot 10^3 \times 82 + 0,500 \times 4,18 \cdot 10^3 \times 82$$

$$Q = P \cdot t \rightarrow 1200 \times t = 3,08 \cdot 10^4 + 1,71 \cdot 10^5 \rightarrow t = 1,7 \cdot 10^2 \text{ s}$$

Opgave 42

Water mengen.

Gegeven: $m_{\text{water}(1)} = 0,300 \text{ kg}$, $t_b = 60,0 \text{ }^\circ\text{C}$

$m_{\text{water}(2)} = 0,400 \text{ kg}$, $t_b = 10,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Gevraagd: t_e

Oplossing: Het warme water staat warmte af, het koude water neemt warmte op.

Afgestaan: $m_{\text{water}1} \cdot c_{\text{water}1} \cdot (t_b - t_e) = 0,300 \times c_{\text{water}} \times (60,0 - t_e)$

Opgenomen: $m_{\text{water}2} \cdot c_{\text{water}2} \cdot (t_e - t_b) = 0,400 \times c_{\text{water}} \times (t_e - 10,0)$

$$0,300 \times c_{\text{water}} \times (60 - t_e) = 0,400 \times c_{\text{water}} \times (t_e - 10)$$

Aan beide zijden delen door c_{water} en verder uitrekenen:

$$18 - 0,300 \times t_e = 0,400 \times t_e - 4,0 \rightarrow 22 = 0,700 \times t_e \rightarrow t_e = 31 \text{ }^\circ\text{C}$$

Opgave 43

Calorimeter met petroleum en ijzer.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 300 \text{ J/K}$,
 $m_{\text{petroleum}} = 0,200 \text{ kg}$, $t_b = 15,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{petroleum}} = 2,14 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)
 $m_{\text{Fe}} = 0,400 \text{ kg}$, $t_{b, \text{Fe}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{Fe}} = 0,46 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)

Gevraagd: t_e

Oplossing: De opgenomen warmte door de calorimeter en petroleum is gelijk aan de warmte die het metaal afstaat:

$$m_{\text{petroleum}} \cdot c_{\text{petroleum}} \cdot (t_e - t_b) + C \cdot (t_e - t_b) = m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \cdot (t_{b, \text{Fe}} - t_e) \rightarrow \text{invullen:}$$

$$0,200 \times 2,14 \cdot 10^3 \times (t_e - 15,0) + 300 \times (t_e - 15,0) = 0,400 \times 0,46 \cdot 10^3 \times (200 - t_e)$$

$$428 \times t_e - 6420 + 300 \times t_e - 4500 = 3,68 \cdot 10^4 - 184 \times t_e$$

$$428 \times t_e + 184 \times t_e + 300 \times t_e = 3,68 \cdot 10^4 + 6420 + 4500$$

$$912 \times t_e = 4,77 \cdot 10^4 \rightarrow t_e = \mathbf{52 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Opgave 44

Calorimeter met alcohol en aluminium.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 140 \text{ J/K}$,
 $m_{\text{alcohol}} = 0,150 \text{ kg}$, $t_b = 18,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{alcohol}} = 2,43 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)
 $m_{\text{Al}} = 0,125 \text{ kg}$, $t_{b, \text{Al}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $c_{\text{Al}} = 0,88 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)

Gevraagd: a) t_e b) te verwachten probleem?

Oplossing: a

De **calorimeter** neemt op: $C \cdot (t_e - t_b) \rightarrow 140 \times (t_e - 18,0) = 140 \times t_e - 2,52 \cdot 10^3$

De **alcohol** neemt op: $m_{\text{alcohol}} \cdot c_{\text{alcohol}} \cdot (t_e - t_b) \rightarrow 0,150 \times 2,43 \cdot 10^3 (t_e - 18,0)$
 $= 3,65 \cdot 10^2 \times t_e - 6,56 \cdot 10^3$

Het **aluminium** staat af: $m_{\text{Al}} \cdot c_{\text{Al}} \cdot (t_{\text{Al}} - t_e) \rightarrow 0,125 \times 0,88 \cdot 10^3 \times (100 - t_e)$
 $= 1,10 \cdot 10^4 - 1,10 \cdot 10^2 \times t_e$

De opgenomen warmte door de calorimeter en alcohol is gelijk aan de warmte die het aluminium afstaat:

$$140 \times t_e - 2,52 \cdot 10^3 + 3,65 \cdot 10^2 \times t_e - 6,56 \cdot 10^3 = 1,10 \cdot 10^4 - 1,10 \cdot 10^2 \times t_e$$

$$140 \times t_e + 3,65 \cdot 10^2 \times t_e + 1,10 \cdot 10^2 \times t_e = 1,10 \cdot 10^4 + 2,52 \cdot 10^3 + 6,56 \cdot 10^3$$

$$615 \times t_e = 2,01 \cdot 10^4 \rightarrow t_e = \mathbf{33 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

b Als je een blokje aluminium in alcohol dompelt dan gaat bij het eerste contact de alcohol plaatselijk koken. Alcohol kookt bij 78 $^{\circ}\text{C}$. Niet zo'n slimme proef!

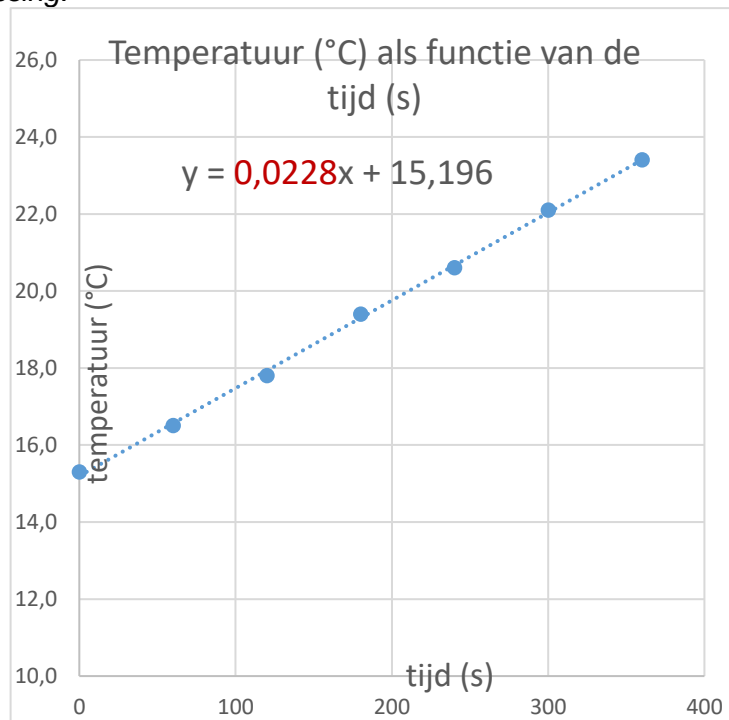
Opgave 45

Calorimeter met 300 g water.

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 53 \text{ J/K}$, $m_{\text{water}} = 0,300 \text{ kg}$, $U = 15,0 \text{ V}$, $I = 2,0 \text{ A}$, T en t (tijd) in tabel.

t (s)	T (°C)
0	15,3
60	16,5
120	17,8
180	19,4
240	20,6
300	22,1
360	23,4

Gevraagd: c_{water} te berekenen uit de *richtingscoëfficiënt* $\Delta T/\Delta t$
Oplissing:



We maken een grafiek met Excel, de trendlijn heeft als vergelijking $T = 0,0228 t + 15,2$ *richtingscoëfficiënt* $\Delta T/\Delta t$ is: $0,0228 \text{ } ^\circ\text{C/s}$

Om deze waarde te gebruiken moeten we de vergelijking van de opgenomen en afgestane warmte iets aanpassen:

$$Q = U \cdot I \cdot t = m_w \cdot c_w \cdot \Delta T + C_{\text{cal}} \cdot \Delta T \rightarrow U \cdot I \cdot \Delta t = (m_w \cdot c_w + C_{\text{cal}}) \cdot \Delta T$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = 0,0228 = \frac{U \cdot I}{(m \cdot c_w + C_{\text{cal}})}$$

Omwerken levert:

$$0,0228 = \frac{U \cdot I}{(m \cdot c_w + C_{\text{cal}})}$$

$$c_{\text{water}} = \frac{1}{m} \cdot \left(\frac{U \cdot I}{0,0228} - C_{\text{cal}} \right)$$

$$c_{\text{water}} = \frac{1}{0,300} \times \left(\frac{15,0 \times 2,0}{0,0228} - 53 \right) = 4,21 \cdot 10^3 \text{ J/(kgK)}$$

Opgave 46

Koperen kogel

Gegeven: $C_{\text{cal}} = 800 \text{ J/K}$, $m_{\text{water}} = 0,900 \text{ kg}$, $t_{\text{b, H}_2\text{O}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{\text{e}} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas), $m_{\text{koper}} = 0,260 \text{ kg}$, $c_{\text{koper}} = 0,387 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)

Gevraagd: $t_{\text{b, koper}}$

Oplissing: De temperatuur van de vlam is gelijk aan de temperatuur van de kogel op het moment dat de kogel uit de vlam gehaald wordt.

De opgenomen warmte door de calorimeter en het water is gelijk aan de warmte die het koper afstaat:

$$m_{\text{water}} \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_{\text{e}} - t_{\text{b}}) + C \cdot (t_{\text{e}} - t_{\text{b}}) = m_{\text{koper}} \cdot c_{\text{koper}} \cdot (t_{\text{b, koper}} - t_{\text{e}}) \rightarrow \text{invullen:}$$

$$0,900 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (35 - 15) + 800 \times (35 - 15) = 0,260 \times 0,387 \cdot 10^3 \times (t_{\text{b, koper}} - 35)$$

$$7,52 \cdot 10^4 + 1,60 \cdot 10^4 = 1,01 \cdot 10^2 \times t_{\text{b, koper}} - 3,52 \cdot 10^3$$

$$9,47 \cdot 10^4 = 1,01 \cdot 10^2 \times t_{\text{b, koper}} \rightarrow t_{\text{b, koper}} = 9,4 \cdot 10^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Opgave 47

Gietijzeren badkuip.

Gegeven: $m_{\text{gietijzer}} = 70 \text{ kg}$, $t_b = 32,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $c_{\text{gietijzer}} = 0,50 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)
 $m_{\text{water}} = 299 \text{ kg}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)
 $t_e = 37,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Gevraagd: Volume water van 100 °C nodig?

Oplossing: Gietijzeren kuip neemt warmte op: $m_{\text{gietijzer}} \cdot c_{\text{gietijzer}} \cdot (t_e - t_b)$
 $70 \times 0,50 \cdot 10^3 \times 4,5 = 1,58 \cdot 10^5 \text{ J}$

Water neemt warmte op: $m_{\text{water}} \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b)$

$299 \times 4,18 \cdot 10^3 \times 4,5 = 5,62 \cdot 10^6 \text{ J}$

V liter water van 100 °C staat warmte af: $V \cdot \rho \cdot c_{\text{water}} \cdot (100 - t_e)$

$V \times 0,998 \times 4,18 \cdot 10^3 \times 63 = 2,63 \cdot 10^5 \times V \text{ J}$

Opgenomen = afgestaan $\rightarrow 1,58 \cdot 10^5 + 5,62 \cdot 10^6 = 2,63 \cdot 10^5 \times V$

V = 22 L

Opgave 48

	stof	soortelijke warmte J/(kg · K)	geleiding (W/(m · K))
a	koper	387	390
b	perspex	$1,5 \cdot 10^3$	1,9
c	De gegevens komen hiermee inderdaad overeen. Een lage soortelijke warmte bij Cu gaat samen met een hoge geleiding.		

Opgave 49

Komeet.

Gegeven: $V_{\text{water}} = 150 \text{ 000 L}$, $c_{\text{water}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (Binas)
 $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 56 \text{ }^\circ\text{C}$, $v_{\text{komeet}} = 1,5 \text{ km/s}$

Gevraagd: massa komeet

Oplossing: De kinetische energie van de komeet is: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Als de kinetische energie volledig in warmte van het water wordt omgezet, dan geldt:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m_{\text{water}} \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b)$$

$$v = 1,5 \text{ km/s} \rightarrow 1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

$$m_{\text{water}} = 150 \text{ 000 L} \times 0,998 \text{ kg/L} = 1,497 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

$$\frac{1}{2} \times m \times (1,5 \cdot 10^3)^2 = 1,497 \cdot 10^5 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (56 - 20)$$

$$1,125 \cdot 10^6 \times m = 2,25 \cdot 10^{10} \rightarrow m = \mathbf{2,0 \cdot 10^4 \text{ kg}}$$

Opgave 50

Koolmonoxide

Gegeven: Koolmonoxide (koolmonoxide) $c_p = 1,05 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $c_p / c_v = 1,4$ (Binas)

Gevraagd: c_v (soortelijke warmte constant volume)

Oplossing: $c_v = c_p / 1,4 \rightarrow c_v = 1,05 \cdot 10^3 / 1,4 = \mathbf{750 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}}$

Opgave 51

Zuurstof

Gegeven: Zuurstof, $m_{O_2} = 2,5 \text{ kg}$, $t_b = 10 \text{ °C}$, $t_e = 25 \text{ °C}$, $c_p = 0,92 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $c_p / c_v = 1,4$ (Binas)

Gevraagd: a) Q bij constante druk b) Q bij constant volume c) waardoor verschil?

Oplossing: $c_v = c_p / 1,4 \rightarrow c_v = 0,92 \cdot 10^3 / 1,4 = 6,57 \cdot 10^2 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

a $Q_p = m_{O_2} \cdot c_p \cdot (t_e - t_b) \rightarrow Q_p = 2,5 \times 0,92 \cdot 10^3 \times (25 - 10) = \mathbf{3,4 \cdot 10^4 \text{ J}}$

b $Q_v = m_{O_2} \cdot c_v \cdot (t_e - t_b) \rightarrow Q_v = 2,5 \times 0,657 \cdot 10^3 \times (25 - 10) = \mathbf{2,5 \cdot 10^4 \text{ J}}$

c Bij gelijkblijvende druk moet het volume groter worden. Dan drukt het gas tegen de wand of tegen een zuiger zodat het volume ook toeneemt. De kracht op de zuiger verricht dan arbeid. Hiervoor is de extra energie nodig.

Opgave 52

Stikstof

Gegeven: Stikstof, $m_{N_2} = 1,2 \text{ kg}$, $t_b = 35,0 \text{ °C}$, $t_e = 220 \text{ °C}$, $c_p = 1,04 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, $c_p / c_v = 1,4$ (Binas)

Gevraagd: a) Q bij constant volume b) Q bij constante druk c) $W_{\text{uitwendig}}$

Oplossing: $c_v = c_p / 1,4 \rightarrow c_v = 1,04 \cdot 10^3 / 1,4 = 7,43 \cdot 10^2 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$

a $Q_v = m_{N_2} \cdot c_v \cdot (t_e - t_b) \rightarrow Q_v = 1,2 \times 0,743 \cdot 10^3 \times (220 - 35) = \mathbf{1,65 \cdot 10^5 \text{ J}}$

b $Q_p = m_{N_2} \cdot c_p \cdot (t_e - t_b) \rightarrow Q_p = 1,2 \times 1,04 \cdot 10^3 \times (220 - 35) = \mathbf{2,31 \cdot 10^5 \text{ J}}$

c $W_{\text{uitwendig}} = Q_p - Q_v = 2,31 \cdot 10^5 - 1,65 \cdot 10^5 = \mathbf{6,6 \cdot 10^4 \text{ J}}$

Opgave 53

Zwavelzuur en water.

Gegeven: 100 mL water, $t_b = 17,4 \text{ °C}$, $t_e = 35,2 \text{ °C}$, oplossen 0,100 mol zwavelzuur

Gevraagd: $\Delta H_{\text{oplossen}}$

Oplossing: De vrijkomende warmte wordt door het water opgenomen.

100 mL = 0,100 L en de dichtheid van water: 0,998 kg/L

$$Q = V \cdot \rho \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) \rightarrow Q = 0,100 \times 0,998 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (35,2 - 17,4) = 7,43 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Het oplossen van 0,10 mol H_2SO_4 levert dus $7,43 \cdot 10^3 \text{ J}$ warmte. Voor 1 mol is dat dan: $7,43 \cdot 10^3 \text{ J} / 0,1 \text{ mol} = 7,43 \cdot 10^4 \text{ J}$

Conclusie:

Vrijkomende warmte $Q = 7,43 \cdot 10^4 \text{ J}$ per mol H_2SO_4

Enthalpieverandering: $\Delta H_{\text{oplossen}} = \mathbf{-7,43 \cdot 10^4 \text{ J}}$ per mol H_2SO_4

Opgave 54

1,0 L water koken op gas.

Gegeven: 1,0 L water, $t_b = 20\text{ °C}$, $t_e = 100\text{ °C}$, $V_{\text{gas}} = 11\text{ dm}^3$

Gevraagd: $\Delta H_{\text{aardgas}}$ (als geen warmte verloren zou gaan)

Oplossing: De verbrandingswarmte wordt door het water opgenomen.

1,0 L water is 0,998 kg

$$Q = m_{\text{water}} \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) \rightarrow Q = 0,998 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (100 - 20) = 3,3 \cdot 10^5\text{ J}$$

11 dm³ aardgas levert $3,3 \cdot 10^5\text{ J}$ warmte.

$$1,0\text{ m}^3\text{ aardgas levert } 3,3 \cdot 10^5\text{ J} / 0,011\text{ m}^3 = 3,0 \cdot 10^7\text{ J/m}^3$$

Conclusie:

Vrijkomende warmte $Q = 3,0 \cdot 10^7\text{ J/m}^3$

Enthalpieverandering: $\Delta H_{\text{oplossen}} = -3,0 \cdot 10^7\text{ J/m}^3$

Opgave 55

- a Vormingswarmte van N₂O (lachgas): $\Delta H = +0,816 \cdot 10^5\text{ J/mol}$ (Binas)
- b De enthalpieverandering is positief, dus de inwendige chemische energie van de moleculen neemt toe. De energie die hiervoor nodig is wordt aan de omgeving onttrokken. De reactie is dus **endotherm**.
-

Opgave 56

Reactiewarmte (vormingsenthalpie):

- a LiF $\Delta H = -6,16 \cdot 10^5\text{ J/mol}$ (Binas)
De inwendige chemische energie neemt af, deze energie komt dan vrij, er komt warmte vrij: **exotherm**.
- b CS₂ $\Delta H = +0,890 \cdot 10^5\text{ J/mol}$ (Binas)
De inwendige chemische energie neemt toe, daar is energie voor nodig, deze wordt aan de omgeving onttrokken, er is warmte nodig: **endotherm**.
-

Opgave 57

Gegeven: $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$, $m_{\text{HCl}} = 0,73\text{ g}$, $Q = 1846\text{ J}$ warmte komt vrij.

Gevraagd: ΔH_{HCl} (vormingsenthalpie)

Oplossing:

De vormingsenthalpie is de hoeveelheid energie nodig voor de vorming van 1 mol stof.

$$0,73\text{ g HCl is } 0,73\text{ g} / 36,5\text{ g/mol} = 0,020\text{ mol HCl}$$

Voor de vorming van 0,020 mol HCl is nodig: -1846 J

Eenvoudiger is het om te zeggen: 'Er is geen warmte nodig, er komt warmte vrij!'

Maar de definitie van de vormingswarmte ('warmte die nodig is') maakt dat er een min voor het getal komt.

Voor de vorming van 1 mol HCl: $\Delta H = -1846 \text{ J} / 0,020 \text{ mol} = -9,2 \cdot 10^4 \text{ J/mol}$

Opgave 58

Gegeven: $2 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 13 \text{ O}_2 \rightarrow 8 \text{ CO}_2 + 10 \text{ H}_2\text{O}$ $n_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = 0,50 \text{ mol}$

Gevraagd: Hoeveel warmte komt vrij?

Oplossing: ΔH (verbrandingsenthalpie) = $-28,75 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$

De moleculen verliezen inwendige, energie.

Er komt bij verbranding van 1 mol butaan $28,75 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$ warmte vrij.

Voor 50 mol: $Q = 50 \times 28,75 \cdot 10^5 = 1,4 \cdot 10^8 \text{ J/mol}$

Opgave 59

Gegeven: Oplossen KNO_3 , $V_{\text{H}_2\text{O}} = 50 \text{ mL}$, $m_{\text{KNO}_3} = 4,0 \text{ g}$, oploswarmte: $3,2 \cdot 10^4 \text{ J/mol}$, $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Gevraagd: t_e

Oplossing: $M_{\text{KNO}_3} = 101 \text{ g/mol}$, $n = m / M \rightarrow n = 4,0 \text{ g} / 101 \text{ g/mol} = 0,0396 \text{ mol}$

Warmte nodig: $0,0396 \text{ mol} \times 3,2 \cdot 10^4 \text{ J/mol} = 1,27 \cdot 10^3 \text{ J}$

Deze warmte wordt *geleverd* door het water: $-1,27 \cdot 10^3 \text{ J}$

$Q = m_{\text{water}} \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) \rightarrow Q = 0,050 \times 0,998 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (t_e - 20) = -1,27 \cdot 10^3 \text{ J}$

$2,09 \cdot 10^2 t_e - 4,18 \cdot 10^3 = -1,27 \cdot 10^3 \text{ J} \rightarrow t_e = 13,9 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$

Als de oploswarmte positief is moet het water warmte leveren. Daarom is de afgestane warmte negatief: $-1,27 \cdot 10^3 \text{ J}$.

Als je dat lastig vindt kun je ook de warmte positief houden maar dan moet je *bedenken dat de temperatuur daalt* en de eindtemperatuur aftrekken van de begintemperatuur: $(20 - t_e)$.
Dus:

$0,050 \times 0,998 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (20 - t_e) = 1,27 \cdot 10^3 \text{ J} \rightarrow t_e = 13,9 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$

Opgave 60

Zwavelzuur en water.

Gegeven: 50 mL water, $t_b = 18,0 \text{ }^\circ\text{C}$, oplossen 5,0 g zwavelzuur, $\Delta H_{\text{oplossen}} = -4,4 \cdot 10^4 \text{ J/mol}$

Gevraagd: a) t_e b) t_e bij oplossen 50 g H_2SO_4 c) Veiligewerken met H_2SO_4 ?

Oplossing:

a) $\Delta H_{\text{oplossen}} = -4,4 \cdot 10^4 \text{ J/mol}$ er komt warmte vrij.

Deze warmte wordt opgenomen door het water (ook door het zwavelzuur zelf maar we maken het ons eenvoudig en laten dit er buiten).

$n = m / M \rightarrow n = 5,0 \text{ g} / 98 \text{ g/mol} = 0,051 \text{ mol}$.

Uitwerkingen van de opgaven uit:

$Q = n \cdot \Delta H \rightarrow Q = 0,051 \times -4,4 \cdot 10^4 = -2,2 \cdot 10^3 \text{ J}$ Er komt dus $2,2 \cdot 10^3 \text{ J}$ warmte vrij.

$Q = V \cdot \rho \cdot c_{\text{water}} \cdot (t_e - t_b) \rightarrow 0,050 \times 0,998 \times 4,18 \cdot 10^3 \times (t_e - 18) = 2,09 \cdot 10^2 t_e - 3,75 \cdot 10^3$

$2,2 \cdot 10^3 = 2,09 \cdot 10^2 t_e - 3,75 \cdot 10^3 \rightarrow t_e = 29 \text{ }^\circ\text{C}$

b Lossen we 50 g in plaats van 5,0 g zwavelzuur op dan is de warmte ontwikkeling 10 maal zo groot: $10 \times 2,2 \cdot 10^3 = 2,2 \cdot 10^4$

Water neemt dit weer op: $2,2 \cdot 10^4 = 2,09 \cdot 10^2 t_e - 3,75 \cdot 10^3 \rightarrow t_e = 129 \text{ }^\circ\text{C} ??$

Water wordt niet warmer dan $100 \text{ }^\circ\text{C}$ want het gaat koken bij $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

c Zwavelzuur met water mengen is dus een riskant werkje. Door de hitte gaat het water koken en spettert het mét zuur in het rond. Daarom geldt:

- altijd in een zuurkast,
- zwavelzuur bij water gieten, nooit andersom,
- de oplossing koelen, (plaats de oplossing in een bak koud water (met ijs)).