

---

Opgave 1

---

Een vluchtige stof verdampt bij kamertemperatuur gemakkelijk.

---

Opgave 2

---

Benzine is vluchtiger, verdampt veel sneller dan water.

---

Opgave 3

---

Nee, smeerolie voor draaiende onderdelen in machines en motoren is niet vluchtig. Anders zou de smerende werking ook niet lang duren.

---

Opgave 4

---

Oppervlaktespanning bij 20 °C in mN/m

- a alcohol 22
- b kwik 500
- c ether 17
- d water 73

---

Opgave 5

---

Rangschikking naar vluchtigheid.

kwik (630) - olijfolie(570) - water (373) - benzeen (353) - terpentijn (453) - aceton (329) - ether (308)

We kijken hiervoor naar het kookpunt (K) hoe lager het kookpunt des te vluchtiger.

---

Opgave 6

---

Kwik heeft een hoge oppervlaktespanning (500 mN/m). De kracht langs het grensvlak is vrij groot. Hierdoor is het oppervlak van de druppel klein.

Daarbij is de adhesie met de ondergrond (glas) blijkbaar niet zo groot.

Water heeft een veel lagere oppervlaktespanning (73 mN/m). De kracht langs het grensvlak is er wel maar niet zo sterk als bij kwik. Daarbij is er ook de adhesie met het polaire glasoppervlak. Door beide oorzaken is de waterdruppel niet zo mooi bolvormig als de kwikdruppel.

---

Opgave 7

---

Sommige insecten lopen op het water, hun pootjes hebben een *groot oppervlak* met het water. Hun pootjes hebben een *dun laagje was of vet*. En ze zijn niet zo zwaar natuurlijk. De oppervlaktespanning van het water kan het gewicht onder deze omstandigheden dragen.

Opgave 8

---

Oppervlakverkleining levert energiewinst.  
Bij hoge oppervlaktespanning is een klein oppervlak stabiel.

---

Opgave 9

---

Een dunne straal water valt uiteen in druppels wanneer de oppervlaktespanning het gewicht van een druppel niet meer dragen kan.

---

Opgave 10

---

Bij hogere temperatuur hebben de moleculen een hogere kinetische energie. Zij bewegen sneller. Zij kunnen dan ook gemakkelijker verdampen (ontsnappen).  
Er ontstaat er een grenslaag die minder stabiel is. De moleculen blijven niet op hun plaats.

---

Opgave 11

---

- a Ook in heet water lossen vetten niet echt op, maar door de lagere oppervlaktespanning en ook de hogere bewegingssnelheid van de vetmoleculen treedt er iets meer menging op.
  - b Zeep vermindert de oppervlaktespanning sterk. Daarbij heeft een zeepmolecuul een apolaire staart, hiermee wordt vetachtige vervuiling gebonden.
- 

Opgave 12

---

Verzadigingsdruk (dampdruk) op van onderstaande stoffen:

- |   |                   |                         |
|---|-------------------|-------------------------|
| a | water bij 20 °C   | 2340 Pa                 |
| b | water bij 100 °C  | 101325 Pa               |
| c | alcohol bij 400 K | circa $6 \cdot 10^6$ Pa |
| d | ether bij 400 K   | $1,1 \cdot 10^6$ Pa     |
- 

Opgave 13

---

- a Water zal verdampen tot de verzadigingsdruk bereikt is. Bij 20 °C is dat: 2340 Pa.
  - b Bij verwarming zal er meer water verdampen. De druk wordt hoger.
  - c Bij afkoelen zal er damp condenseren. De druk wordt lager.
- 

Opgave 14

---

*In een ruimte bevindt zich een verzadigde damp boven een vloeistof. Ontsnappen er dan nog moleculen uit de vloeistof?*

Ja, er ontsnappen voortdurend moleculen maar er keren er evenveel weer terug.

Opgave 15

---

*Als je het volume van een verzadigde damp verkleint, dan ...*

- a zal de damp condenseren, het totaal aantal dampmoleculen neemt dan dus af,
  - b blijft de maximale dampspanning gelijk, dus ook het aantal moleculen per volume-eenheid.
- 

Opgave 16

---

Door de damp boven de vloeistof weg te blazen maak je de dampdruk van de alcohol lager. Er kunnen dan minder dampmoleculen terugkeren. Dus je bevordert de verdamping.

---

Opgave 17

---

De moleculen in de vloeistof krijgen meer kinetische energie, dus hogere snelheden. Zij kunnen daardoor gemakkelijker aan de vloeistof ontsnappen.

---

Opgave 18

---

De cohesie is bij de kwikatomen groter dan bij de watermoleculen. De kwikatomen houden elkaar sterker vast.

---

Opgave 19

---

Hoe groter het vloeistofoppervlak des te beter de verdamping.

---

Opgave 20

---

Bij een hogere temperatuur hebben de moleculen een hogere kinetische energie. Dus ook hogere snelheden. Er zijn meer moleculen in staat om aan de vloeistof te ontsnappen en dampmoleculen te worden.

Er zullen dan ook wel meer moleculen terugkeren

---

Opgave 21

---

*Benzine heeft een hoger verzadigingsdruk dan water bij 20 °C. Hoe zou dat komen?*

Macroscopisch antwoord:

Benzine heeft een lager kookpunt, is dus vluchtiger dan water.

Benzine heeft een lagere oppervlaktespanning, verdampt gemakkelijker.

Microscopisch antwoord:

Benzine heeft apolaire moleculen, cohesie is geringer dan bij water. Moleculen kunnen daardoor gemakkelijker aan de vloeistof ontsnappen.

Opgave 22

---

- a Er is nog vloeistof over, als damp en vloeistof in evenwicht zijn dan is de damp verzadigd. Dat er lucht in de ruimte zit met 101 kPa druk, dat speelt geen rol.
  - b De verzadigingsdruk van ether bij 20 °C: 58,7 kPa.
- 

Opgave 23

---

Een fles met ether bij 0 °C.

- a Ether verdampt tot de verzadigingswaarde: 24,7 kPa
  - b Zolang er vloeibare ether in de fles achter blijft zal de verzadigde dampspanning 24,7 kPa zijn.
- 

Opgave 24

---

Waterdamp bij 20 °C en 1,50 kPa.

- a Verzadigingsdruk ( $p_{\max}$ ) bij 20 °C = 2,34 kPa, de waterdamp is dus niet verzadigd.
- b Als je de ruimte verwarmt, dan neemt  $p_{\max}$  sterk toe. De werkelijke dampspanning ( $p_w$ ) neemt ook iets toe wegens:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$p_{\max}$  neemt sterk toe

$p_w$  neemt iets toe → de damp wordt minder verzadigd.

---

Opgave 25

---

Afgesloten ruimte van 20 °C met bekeerglas ether erin.

- a De damp zal verzadigd zijn met ether als damp en vloeistof in evenwicht zijn.
- b  $p_{\max} = 58,7$  kPa (tabel 13.1).
- c Bij verwarmen stelt zich een nieuw evenwicht in met een hogere  $p_{\max}$ . Je mag de gaswetten (Gay Lussac) niet toepassen omdat de hoeveelheid damp niet gelijk blijft.
- d Volume verkleinen betekent: condensatie. Dus hoeveelheid damp neemt af, gaswet (Boyle) niet toepasbaar.
- e Volumevergroting betekent: verdamping. Je mag de gaswet ( $p \cdot V / T = \text{constant}$ ) pas toepassen nadat alle vloeistof verdampt is. Dan verandert de hoeveelheid damp niet meer.

-----  
Overigens mag je de algemene gaswet ( $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ ) wel toepassen omdat de hoeveelheid stof ( $n$ ) hierin ook een variabele is. Maar  $p$  moet wel steeds gelijk zijn aan  $p_{\max}$  zolang er ook vloeistof is.

---

Opgave 26

---

Een cilinder van 20,0 L met etherdamp van 30,0 kPa en 40 °C en lekvrije zuiger.

- a Verzadigingsdruk bij 40 °C = **123 kPa** (tabel 13.1).
- b Met  $p = 30,0$  kPa is de etherdamp onverzadigd.
- c Volume verkleinen tot 4,9 L.  $p_{\max}$  bereikt. Verdere volumeverkleining geeft condensatie. Hoeveelheid damp is dan niet constant, dus gaswetten Boyle en Gay Lussac niet toepasbaar.

---

### Opgave 27

---

Tank met alcohol van 40 °C.

- a Damp boven de vloeistof is verzadigd.
- b  $p = p_{\max} = \mathbf{17,8\ kPa}$  (tabel 13.1).
- c Afkoelen tot 0 °C geeft condensatie.
- d Ook bij 0 °C geldt:  $p = p_{\max}$ . Deze wordt **1,67 kPa** (tabel 13.1).
- e Verwarmen tot 60 °C geeft verdamping.  
Als niet alle vloeistof verdampt, dan geldt:  $p = p_{\max} = \mathbf{46,8\ kPa}$  (tabel 13.1).

---

### Opgave 28

---

Kritieke (kritische) temperatuur.

- a aardgas **187 K**
- b ethaan **305 K**
- c helium **5,2 K**
- d stikstof **126 K**
- e Bij 293 K is alleen **ethaan** vloeibaar te maken. De andere gassen zijn wel te *verdichten* maar er is geen condensatieovergang.

---

### Opgave 29

---

Een zuurstofcilinder bij kamertemperatuur bevat dus gas. Geen vloeistof.

---

### Opgave 30

---

Dauwpunt bij  $p = p_{\max} = 1,60$  kPa.

Als je de temperatuur (plaatselijk) verlaagt dan zal waterdamp van 1,60 kPa gaan condenseren bij **14,0 °C**. Tabel Binas: bij 14,0 °C  $p_{\max} = 1599$  Pa.

---

### Opgave 31

---

- a De temperatuur van vochtige lucht ligt boven het dauwpunt.  
De waterdamp is dan onverzadigd.

- b De temperatuur van vochtige lucht ligt beneden het dauwpunt.  
De waterdamp is dan oververzadigd.

---

### Opgave 32

---

Bril beslaat.

Een koude bril kan een temperatuur hebben onder het dauwpunt. (Van de vochtige lucht in de warmte ruimte).

---

### Opgave 33

---

Koude drank in fles.

Condensatie treedt op waar de fleswand een lagere temperatuur heeft dan het dauwpunt. De inhoud blijft nog een tijdje koud (warmtecapaciteit).

De fleswand waar geen koude vloeistof achter zit warmt eerder op, daar is dus geen (of minder kans op) condensatie.

---

### Opgave 34

---

Bakje met water aan een centrale verwarming.

Het water verdampt en brengt zo de relatieve vochtigheid weer iets omhoog.

---

### Opgave 35

---

$p_{\max}$  van water

a 12,6 °C  $p_{\max} = 1450 \text{ Pa} + 0,1/0,5 \times (1498 \text{ Pa} - 1450 \text{ Pa}) = \mathbf{1,46 \text{ kPa}}$

b 18,3 °C  $p_{\max} = 2065 \text{ Pa} + 0,3/0,5 \times (2130 \text{ Pa} - 2065 \text{ Pa}) = \mathbf{2,10 \text{ kPa}}$

c 112 °C  $p_{\max} = 143,4 \text{ kPa} + 2/10 \times (198,7 \text{ kPa} - 143,4 \text{ kPa}) = \mathbf{154 \text{ kPa}}$

Je moet hierbij dus interpoleren.

Tevens de eenheid in de gaten houden en afronden.

-----  
Bij het optellen van de twee drukken bijvoorbeeld in het geval van 18,3 °C:

De onnauwkeurigheid in 0,3/0,5 is vrij groot, wortel uit relatieve fouten:  $\sqrt{(0,3^2 + 0,2^2)} = 0,4$   
onnauwkeurigheid in  $0,6 \times 65 = 39$  wordt dan:  $0,4 \times 39 = \pm 16$ . Deze onnauwkeurigheid blijft bestaan in de som:  $2065 + 39 = 2104 \pm 16$ . Vandaar 2,10 kPa.

---

### Opgave 36

---

0%  $p = 0$

100%  $p = p_{\max}$

### Opgave 37

---

*Gegeven:*  $e = 63\%$ ,  $t = 20\text{ °C}$

*Gevraagd:*  $p$

*Oplossing:*  $e = \frac{p}{p_{\max}} \cdot 100\%$   $p_{\max}$  bij  $20\text{ °C}$  is: 2340 Pa

$$63 = (p / 2340) \times 100 \rightarrow p = 0,63 \times 2340 = 1474 \text{ Pa} \rightarrow \mathbf{1,5 \text{ kPa}}$$

### Opgave 38

---

*Gegeven:*  $e = 70\%$ ,  $t = 18\text{ °C}$

*Gevraagd:* dauwpunt

*Oplossing:*  $e = \frac{p}{p_{\max}} \cdot 100\%$   $p_{\max}$  bij  $18\text{ °C}$  is: 2065 Pa

$$70 = (p / 2065) \times 100 \rightarrow p = 0,70 \times 2065 = 1446 \text{ Pa}$$

Deze waarde voor de dampspanning is verzadigingsdruk bij het dauwpunt.

$$p_{\max} = 1403 \text{ Pa bij } 12,0\text{ °C}$$

$$p_{\max} = 1450 \text{ Pa bij } 12,5\text{ °C}$$

Bij welke temperatuur is  $p_{\max} = 1446 \text{ Pa}$ ?

Zo op het oog: iets minder dan  $12,5\text{ °C}$  bijvoorbeeld  $12,4\text{ °C}$ , maar we kunnen het ook uitrekenen:

$$\text{Drukverschil per graad: } 47 / 0,5 = 94 \text{ Pa/°C}$$

$$\text{Drukverschil met } 12,0\text{ °C: } 1446 - 1403 = 43 \text{ Pa.}$$

$$\text{We moeten dan bij } 12,0\text{ °C: optellen: } 43/94 \times 1\text{ °C} = 0,46\text{ °C} \rightarrow \mathbf{12,5\text{ °C}}$$

### Opgave 39

---

*Gegeven:*  $e = 57\%$ ,  $t = 21\text{ °C}$ ,  $t_{\text{nacht}} = 14\text{ °C}$

*Gevraagd:* dauwpunt onder of boven  $14\text{ °C}$

*Oplossing:*  $e = \frac{p}{p_{\max}} \cdot 100\%$   $p_{\max}$  bij  $21\text{ °C}$  is: 2488 Pa

$$57 = (p / 2488) \times 100 \rightarrow p = 0,57 \times 2488 = 1418 \text{ Pa}$$

Het dauwpunt (Binastabel) ligt dan tussen  $12,0\text{ °C}$  en  $12,5\text{ °C}$ , dat is onder de  $14\text{ °C}$

Dus zal er **geen dauwvorming** (condensatie optreden).

### Opgave 40

---

In de keuken.

Uitwerkingen van de opgaven uit:

**Natuurkunde voor het MBO, Deel 2** ISBN 9789491764431, 1<sup>e</sup> druk, Uitgeverij Syntax Media  
Hoofdstuk 5 Dampen. bladzijde 8

---

Het raam (116 °C) gaat beslaan als de dampdruk gelijk is aan de verzadigingsdruk bij 16 °C.  
Deze verzadigingsdruk is volgens de tabel: 1818 Pa.

De verzadigingsdruk bij de temperatuur van de lucht in de keuken (21 °C) is: 2488 Pa.

De relatieve vochtigheid is (bij het beslaan van het raam) dus: 1818 Pa / 2488 Pa = **0,73**.

---

#### Opgave 41

---

Hoeveel waterdamp maximaal in 1,00 m<sup>3</sup> lucht?

*Gegeven:*  $t = 20\text{ °C}$ ,  $V = 1,00\text{ m}^3$

*Gevraagd:* massa waterdamp in 1,00 m<sup>3</sup>

*Oplossing:*

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow$  we kunnen  $n$  uitrekenen als we ook  $p$  weten.

$p_{\max}$  bij 20 °C is: 2340 Pa

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow 2340 \times 1,00 = n \times 8,31 \times 293 \rightarrow n = 0,961\text{ mol H}_2\text{O}$

$m = n \times M \rightarrow 0,961\text{ mol} \times 18,0\text{ g/mol} = \mathbf{17,3\text{ g}}$

---

#### Opgave 42

---

Hoeveel waterdamp in een lokaal?

*Gegeven:*  $V = 210\text{ m}^3$ ,  $t = 19\text{ °C}$ ,  $e = 0,63$

*Gevraagd:* massa waterdamp in het lokaal

*Oplossing:*

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow$  we kunnen  $n$  uitrekenen als we ook  $p$  weten.

$p_{\max}$  bij 19 °C is: 2198 Pa

werkelijke druk:  $0,63 \times 2198\text{ Pa} = 1385\text{ Pa}$

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow 1385 \times 210 = n \times 8,31 \times 292 \rightarrow n = 120\text{ mol H}_2\text{O}$

$m = n \times M \rightarrow 120\text{ mol} \times 18,0\text{ g/mol} = 2,16 \cdot 10^3\text{ g} \rightarrow \mathbf{2,2\text{ kg}}$

We ronden af op 2 significante cijfers omdat  $e$  (0,63) er ook maar twee heeft.

---

#### Opgave 43

---

Dauwpuntmeting.

*Gegeven:*  $t = 21,4\text{ °C}$ ,  $dauwpunt = 15,7\text{ °C}$ .

*Gevraagd:*  $e$

*Oplossing:*  $e = \frac{p_{\text{werkelijk}}}{p_{\text{max}}} \cdot 100\%$

$p_{\max}$  bij 21,4 °C is: **2519 Pa** want:

interpoleren:



Uitwerkingen van de opgaven uit:

**Natuurkunde voor het MBO, Deel 2** ISBN 9789491764431, 1<sup>e</sup> druk, Uitgeverij Syntax Media  
Hoofdstuk 5 Dampen. bladzijde 9

---

21,0 °C → 2488 Pa

21,5 °C → 2565 Pa    verschil: 77 Pa per 0,5 °C

21,4 °C → 2488 Pa + 0,4 × 77 = **2519 Pa** want:

$p_{\text{werkelijk}} = p_{\text{max}}$  bij 15,7 °C is: **1773 Pa**

interpoleren:

15,5 °C → 1761 Pa

16,0 °C → 1818 Pa    verschil: 57 Pa per 0,5 °C

15,7 °C → 1761 Pa + 0,2 × 57 = **1773 Pa**

$$e = \frac{p_{\text{werkelijk}}}{p_{\text{max}}} \cdot 100\% \rightarrow e = \frac{1773 \text{ Pa}}{2519 \text{ Pa}} = \mathbf{0,704}$$

---

### Opgave 44

---

Niet ademen tegen een dauwpunthygrometer.

Dan meet je het dauwpunt van je adem.

---

### Opgave 45

---

Ruimte met waterdamp.

*Gegeven:*     $t = 20 \text{ °C}$ ,  $p_{\text{damp}} = 2,0 \text{ kPa}$ ,  $V_1 = 20,0 \text{ L}$ .

*Gevraagd:*    a)  $V_2$  (damp verzadigd)    b)  $p_{\text{damp}}$  bij  $V = 5,0 \text{ L}$ .

*Oplossing:*

$p_{\text{max}}$  bij 20 °C is: 2340 Pa

a    We moeten het volume verkleinen totdat de nieuwe druk 2,34 kPa is.

$$\text{Boyle: } V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 20,0 \times 2,0 = V_2 \times 2,34 \rightarrow V_2 = \mathbf{17,1 \text{ L}}$$

b    Verder verkleinen van de dampdruk leidt tot condensatie en de druk blijft dan **2,34 kPa**.

---

### Opgave 46

---

Waterdamp.

*Gegeven:*     $t = 20 \text{ °C}$ ,  $p_{\text{damp}} = 1600 \text{ Pa}$ ,  $V_1 = 2,0 \text{ L}$ .

*Gevraagd:*     $p_{\text{damp}}$  bij a)  $V = 4,0 \text{ L}$     b)  $V = 2,0 \text{ L}$     c)  $V = 1,0 \text{ L}$     d)  $V = 0,5 \text{ L}$

*Oplossing:*

$p_{\text{max}}$  bij 20 °C is: 2340 Pa

$$\text{Deze druk wordt behaald bij } V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 2,0 \times 1,60 = V_2 \times 2,34 \rightarrow V_2 = 1,38 \text{ L}$$

We kunnen de wet van Boyle toepassen zolang het volume groter dan 1,4 L blijft. Daar beneden is de dampspanning gelijk aan  $p_{\max}$ .

- a  $V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 2,0 \times 1,60 = 4,0 \times p_2 \rightarrow p_2 = \mathbf{0,80 \text{ kPa}}$
- b Bij  $V_2 = 2,0 \text{ L}$  is het volume constant dus  $p_2 = \mathbf{1,6 \text{ kPa}}$
- c  $p = p_{\max} = \mathbf{2,34 \text{ kPa}}$
- d  $p = p_{\max} = \mathbf{2,34 \text{ kPa}}$

---

### Opgave 47

---

Ruimte met laagje water.

*Gegeven:*  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

*Gevraagd:*  $p_{\text{damp}}$  bij  $10 \text{ }^\circ\text{C}$

*Oplossing:*

Er staat water in de afgesloten ruimte, dus de damp is verzadigd. Bij afkoelen condenseert er waterdamp tot er nieuw evenwicht is. De dampdruk wordt gelijk aan de verzadigingsdruk.

$p_{\max}$  bij  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  is:  $\mathbf{1,23 \text{ kPa}}$

---

### Opgave 48

---

Afgesloten ruimte met waterdamp.

*Gegeven:*  $t = 47 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p_{\text{damp}} = 5,3 \text{ kPa}$

*Gevraagd:* a)  $p_{\text{damp}}$  bij  $87 \text{ }^\circ\text{C}$       b)  $p_{\text{damp}}$  bij  $10 \text{ }^\circ\text{C}$

*Oplossing:*

- a Bij temperatuurverhoging gedraagt de damp zich als gas (tenzij er nog water verdampt).  
We kunnen de drukwet van Gay-Lussac gebruiken:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{5,3}{320} = \frac{p_2}{360} \rightarrow p_2 = \mathbf{6,0 \text{ kPa}}$$

- b Bij temperatuurverlaging gedraagt de damp zich als gas tenzij er damp condenseert.  
We passen de wet van Gay-Lussac toe maar vergelijken het antwoord met  $p_{\max}$   $7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{5,3}{320} = \frac{p_2}{280} \rightarrow p_2 = 4,6 \text{ kPa} ??$$

$$p_{\max} 7 \text{ }^\circ\text{C} = 1,00 \text{ kPa}$$

Conclusie: er condenseert waterdamp en de dampdruk wordt  $\mathbf{1,00 \text{ kPa}}$ .

---

### Opgave 49

---

Afgesloten ruimte met waterdamp.

Uitwerkingen van de opgaven uit:

*Gegeven:*  $t = 20\text{ °C}$ ,  $p_{\text{damp}} = 1420\text{ Pa}$

*Gevraagd:* Condensatie bij halvering volume?

*Oplossing:* Ja.

Want: de druk zou (Boyle) tweemaal zo groot worden: 2840 Pa.

Maar bij 20 °C is  $p_{\text{max}}$ : 2340 Pa. Groter kan de dampdruk niet worden. Dus gaat er damp condenseren bij 2340 Pa.

Dat is bij  $1420 / 2340 = 0,61$  maal het startvolume.

---

### Opgave 50

---

Afgesloten cilinder met etherdamp.

*Gegeven:*  $t = 40\text{ °C}$ ,  $p_{\text{damp}} = 30,0\text{ kPa}$ ,  $V = 20,0\text{ L}$ .

*Gevraagd:* a)  $V_{\text{verzadiging}}$  b) Wat gebeurt bij verdere volumeverkleining?

*Oplossing:*

a Bij 40 °C is  $p_{\text{max}}$ : 123 kPa (tabel 13.1)

Bij volumeverkleining verloopt de druk volgens Boyle:  $V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow$

$$20,0 \times 30,0 = V_2 \times 123 \rightarrow V_2 = \mathbf{4,88\text{ L}}$$

b Bij verder volume verkleinen condenseert er etherdamp en blijft de druk 123 kPa

---

### Opgave 51

---

Afgesloten tank met verzadigde alcoholvapor.

*Gegeven:*  $t_1 = 40\text{ °C}$ , geen vloeistof,  $t_2 = 20\text{ °C}$ .

*Gevraagd:*  $p_{\text{damp}}$  bij 20 °C

*Oplossing:*

De damp is al verzadigd. Bij temperatuurverlaging wordt  $p_{\text{max}}$  kleiner, er condenseert dus alcoholvapor. We eindigen bij 20 °C. Volgens tabel 13.1 is dan  $p_{\text{max}}$ : **5,38 kPa**.

---

### Opgave 52

---

Vat met een laagje water.

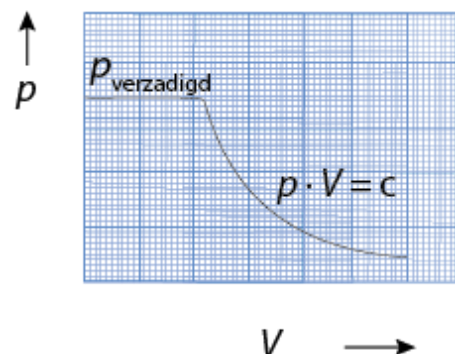
Volume flink vergroten, schets  $p$ - $V$  diagram.

Zolang er water kan verdampen (en de tijd krijgt om evenwicht te maken) blijft de druk op de verzadigingswaarde:  $p_{\text{verzadigd}}$ .

Als alle water verdampt is, gedraagt de damp zich als gas en geldt de wet van Boyle:  $p \cdot V = \text{constant}$ .

Dit levert een isotherm, zie de schets.

Voor de isotherm: bedenk hoe een grafiek eruit ziet die



voldoet aan de volgende relatie:  $p = \text{constante} / V$

$V \times 2$  zo groot dan  $p \times 2$  zo klein

$V \times 3$  zo groot dan  $p \times 3$  zo klein, enzovoort.

Dit levert een kromme curve van hoog naar laag.

---

### Opgave 53

---

a Damp,  $p_{\text{damp}} < p_{\text{max}}$

*Hoe verandert de dampdruk wanneer het volume wordt verkleind?*

Dan gedraagt de damp zich als gas, volgens de wet van Boyle:  $p \cdot V = \text{constant}$

b Damp,  $p_{\text{damp}} = p_{\text{max}}$

*Hoe verandert de dampdruk wanneer het volume wordt verkleind?*

Dan condenseert er damp.  $p_{\text{damp}}$  blijft gelijk aan  $p_{\text{max}}$ .

---

### Opgave 54

---

Een ruimte met verzadigde damp (zonder vloeistof).

a *Is de damp bij de hogere temperatuur onverzadigd, verzadigd of oververzadigd?*

Onverzadigd want  $p_{\text{max}}$  is bij hogere temperatuur ook hoger. Er kan dus meer verdampen.

b *Wat gebeurt er met de dampdruk als je de temperatuur van de ruimte verlaagt?*

Dan wordt  $p_{\text{max}}$  kleiner en zal er dus damp condenseren tot  $p_{\text{damp}} = p_{\text{max}}$ .

---

### Opgave 55

---

*In een afgesloten ruimte met laagje vloeistof. Verwarmen tot nadat alle vloeistof verdampt is.*

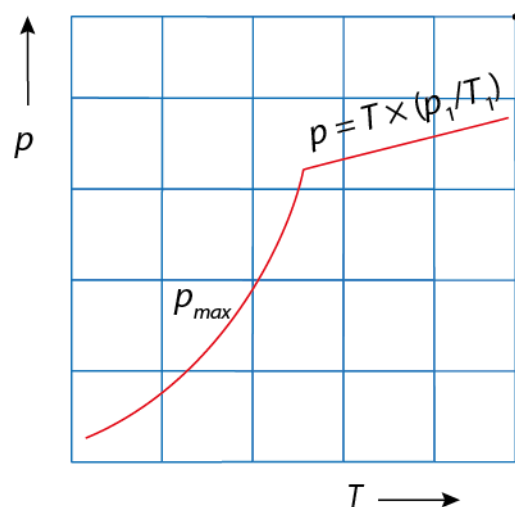
*Schets het verband tussen  $p_{\text{damp}}$  en  $T$ .*

Met stijgende  $T$  neemt  $p_{\text{max}}$  ook toe, de kromme wordt steeds stijler. Voor een voorbeeld zie de grafiek (verzadigingsdruk als functie van de temperatuur.)

Nadat alle vloeistof verdampt is stijgt de druk volgens de drukwet van Gay Lussac:

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1} \rightarrow p_2 = T_2 \times \frac{p_1}{T_1}$$

De verhouding  $p_1 / T_1$  verandert niet, alleen  $T_2$  neemt toe.  $p$  is dan evenredig met  $T$ . Dus dit geeft een rechte lijn met een positieve richtingscoëfficiënt.



### Opgave 56

---

Ruimte met waterdamp.

Gegeven:  $V = 1,5 \text{ m}^3$ ,  $t_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $e = 47\%$ .

Gevraagd: a)  $p_{\text{damp}}$  b)  $e$  bij  $V = 1,2 \text{ m}^3$ .

Oplossing:

a  $p_{\text{max}}$  bij  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  is: 2065 Pa,  $p_{\text{damp}}$  is dan:  $0,47 \times 2065 = \mathbf{971 \text{ Pa}}$

b 
$$e = \frac{p_{\text{werkelijk}}}{p_{\text{max}}}$$

Boyle:  $V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 1,5 \times 971 = 1,2 \times p_2 \rightarrow p_{\text{werkelijk}} = 1213 \text{ Pa}$

$e = 1213 / 2065 = \mathbf{0,59}$

---

### Opgave 57

---

Waterdamp.

Gegeven:  $t_1 = 23,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $e = 75\%$ .

Gevraagd: a)  $p_{\text{damp}}$  b)  $e$  bij  $t = 21,2 \text{ }^\circ\text{C}$  c) dauwpunt d)  $e$  bij  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Oplossing:

a  $p_{\text{max}}$  bij  $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$  is: 2896 Pa

$$e = \frac{p_{\text{werkelijk}}}{p_{\text{max}}} \quad p_{\text{werkelijk}} = 0,75 \times 2896 = 2172 \text{ Pa} \rightarrow \mathbf{2,17 \text{ kPa}}$$

b  $23,5 \text{ }^\circ\text{C} = 296,5 \text{ K}$ ,  $21,2 \text{ }^\circ\text{C} = 294,2 \text{ K}$

Gay Lussac:  $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1} \rightarrow p_2 = 294,2 \times \frac{2172}{296,5} = 2155 \text{ Pa}$

$p_{\text{max}}$  bij  $21,2 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $2488 + 0,2/0,5 \times (2565 - 2488) = 2519 \text{ Pa}$

$e = 2155 / 2519 = \mathbf{0,856}$

c Het dauwpunt is de temperatuur waarbij  $p_{\text{max}} = 2155 \text{ Pa}$ , dat is tussen  $18,5$  en  $19,0 \text{ }^\circ\text{C}$  interpoleren levert:

$18,5 + ((2155 - 2130) / (2198 - 2130)) \times 0,5 =$

$18,5 + (25 / 68) \times 0,5 = \mathbf{18,7 \text{ }^\circ\text{C}}$

d  $e$  bij  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Deze temperatuur ligt beneden het dauwpunt, de relatieve vochtigheid is dan maximaal: **100%**

---

### Opgave 58

---

Ruimte van 200 L met lucht en waterdamp.

Uitwerkingen van de opgaven uit:

Gegeven:  $V = 200 \text{ L}$ ,  $t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $e = 46\%$ , luchtdruk: 1020 mbar.

Gevraagd: a)  $V$  waarbij  $p_{\text{damp}} = p_{\text{max}}$       b)  $p$  totaal bij dit volume

Oplossing:

a)  $p_{\text{max}}$  bij  $18 \text{ }^\circ\text{C} = 2065 \text{ Pa}$

$$e = \frac{p_{\text{werkelijk}}}{p_{\text{max}}} \quad p_{\text{werkelijk}} = 0,46 \times 2065 = 950 \text{ Pa}$$

$$\text{Boyle: } V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 200 \times 950 = V_2 \times 2065 \rightarrow V_2 = \mathbf{92 \text{ L}}$$

b)  $p_{\text{damp}} = 2065 \text{ Pa} \rightarrow \mathbf{2,07 \text{ kPa}}$

$$p_{\text{lucht}} \rightarrow V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 200 \times 1020 = 92 \times p_{\text{lucht}} \rightarrow p_{\text{lucht}} = 2217 \text{ mbar} \rightarrow \mathbf{222 \text{ kPa}}$$

$$\text{Totale druk: } \mathbf{2,07 \text{ kPa}} + \mathbf{222 \text{ kPa}} = 224 \text{ kPa} \rightarrow \mathbf{2,2 \text{ kPa}}$$

---

### Opgave 59

---

Warme zomerdag.

Gegeven:  $V = 200 \text{ m}^3$  lucht,  $t = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $e = 64\%$

airco maakt hiervan:  $V = 200 \text{ m}^3$  lucht,  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $e = 52\%$

Gevraagd:  $m_{\text{water}}$  door airco verwijderd

Oplossing:

We berekenen de hoeveelheid waterdamp in  $200 \text{ m}^3$  buitenlucht en in  $200 \text{ m}^3$  binnenlucht.

Het verschil is er door de airco uitgehaald.

Buitenlucht:  $32 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 305 \text{ K}$

$p_{\text{max}}$  bij  $32 \text{ }^\circ\text{C} = 4757 \text{ Pa}$

$$p_{\text{damp}} = 0,64 \times 4757 = 3044 \text{ Pa}$$

We berekenen de hoeveelheid in mol ( $n$ ), met de algemene gaswet:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T \rightarrow 3044 \times 200 = n \times 8,31 \times 305 \rightarrow n = \mathbf{240 \text{ mol}}$$

Binnenlucht:  $20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 293 \text{ K}$

$p_{\text{max}}$  bij  $20 \text{ }^\circ\text{C} = 2340 \text{ Pa}$

$$p_{\text{damp}} = 0,52 \times 2340 = 1217 \text{ Pa}$$

We berekenen de hoeveelheid in mol ( $n$ ), met de algemene gaswet:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow 1217 \times 200 = n \times 8,31 \times 293 \rightarrow n = \mathbf{100 \text{ mol H}_2\text{O}}$$

Uit de lucht weggenomen:  $\mathbf{240} - \mathbf{100} = 140 \text{ mol H}_2\text{O}$

Dat is:  $140 \text{ mol} \times 0,018 \text{ kg/mol} = \mathbf{2,52 \text{ kg}}$

---

### Opgave 60

---

Ruimte met droge lucht.

Gegeven:  $V = 200$  L droge lucht,  $t = 20,0$  °C (293,1 K),  $p_{\text{lucht}} = 980$  mbar  
3,00 g water

Gevraagd: a t/m g

Oplossing:

a Hoe groot is  $p_{\text{max}}$  van water bij 20,0 °C?

Deze is (Binas): **2340 Pa**

b Wat zou  $p_{\text{damp}}$  van water worden als alle water zou verdampen? Conclusie?

$$n = m / M \rightarrow n = 3,00 \text{ g} / 18,0 \text{ g/mol} = 0,167 \text{ mol}$$

$$V = 0,200 \text{ m}^3$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow p_{\text{damp}} \times 0,200 = 0,167 \times 8,31 \times 293 \rightarrow p_{\text{damp}} = \mathbf{2029 \text{ Pa}}$$

Onverzadigd

c De ruimte wordt afgekoeld tot 5,0 °C. Wat wordt de druk van de droge lucht?

$$T_2 = 278 \text{ K}$$

$$\text{Gay Lussac: } \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1} \rightarrow p_2 = 278 \times \frac{980}{293} = 930 \text{ mbar} \rightarrow \mathbf{93 \text{ kPa}}$$

d Wat wordt de druk van de waterdamp?

$$\text{Verzadigingsdruk bij } 5,0 \text{ °C: } 872 \text{ Pa} \rightarrow \mathbf{0,87 \text{ kPa}}$$

e Wat wordt de totale druk in de ruimte?

$$p_{\text{totaal}}: 93 \text{ kPa} + 0,87 \text{ kPa} = \mathbf{94 \text{ kPa}}$$

f Hoeveel gram waterdamp bevindt zich nu in de ruimte?

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow 872 \times 0,200 = n \times 8,31 \times 278 \rightarrow n = 0,0755 \text{ mol}$$

$$m = n \cdot M \rightarrow m = 0,0755 \times 18,0 = \mathbf{1,36 \text{ g}}$$

g Hoeveel gram waterdamp is gecondenseerd?

$$3,00 \text{ g} - 1,36 \text{ g} = \mathbf{1,64 \text{ g}}$$

---

### Opgave 61

---

De verzadigde dampspanning is van de temperatuur afhankelijk.

En in een isotherm blijft de temperatuur constant.

---

### Opgave 62

---

De grafiek ontstaat door het volume te veranderen en de druk te meten. Een vloeistof is vrijwel niet samendrukbaar. Als je het volume iets verkleint, dan is daar een hoge druk voor nodig.

### Opgave 63

---

Als je een vloeistof onderdruk hebt en je vergroot het volume dan daalt de druk sterk. Vervolgens gaat de vloeistof verdampen en blijft de druk constant.

Als alle vloeistof verdampt is, dan geldt de wet van Boyle:  $p \times V = \text{constant}$ .

De grafiek is een isotherm.

---

### Opgave 64

---

Ruimte van 200,0 L.

*Gegeven:*  $V = 200,0 \text{ L}$ ,  $t = 20 \text{ °C}$  (293 K),  $p = 1000 \text{ Pa}$

*Gevraagd:* a)  $p_{\text{damp}}$  als  $V_2 = 100,0 \text{ L}$       b)  $p_{\text{damp}}$  als  $V_3 = 50,0 \text{ L}$

*Oplossing:*

$p_{\text{max}}$  bij 20 °C is 2340 Pa

a  $V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 200,0 \times 1000 = 100,0 \times p_{\text{damp}} \rightarrow p_{\text{damp}} = \mathbf{2000 \text{ Pa}}$

De dampspanning blijft onder de verzadigingsdruk.

b  $V_1 \cdot p_1 = V_3 \cdot p_3 \rightarrow 200 \times 1000 = 50 \times p_{\text{damp}} \rightarrow p_{\text{damp}} = \mathbf{4000 \text{ Pa}}$

De dampspanning zou groter worden dan de verzadigingsdruk. Dat kan niet.

De dampspanning blijft:  $p_{\text{max}}$  bij 20 °C = **2340 Pa**

---

### Opgave 65

---

Ruimte van 8,20 m<sup>3</sup>.

*Gegeven:*  $V = 8,20 \text{ m}^3$ ,  $t = 22,0 \text{ °C}$  (295,1 K),  $p = 1450 \text{ Pa}$

*Gevraagd:* a)  $V_2$  als  $p_{\text{damp}} = p_{\text{max}}$       b)  $V_3$  als alle damp gecondenseerd is.

*Oplossing:*

$p_{\text{max}}$  bij 22,0 °C is 2645 Pa

a  $V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 \rightarrow 8,20 \times 1450 = V_2 \times 2645 \rightarrow V_2 = \mathbf{4,50 \text{ m}^3}$

b Alle water moet condenseren. Het eindvolume wordt dus bepaald door het water dat we krijgen. Met de algemene gaswet berekenen we  $n$ , vervolgens  $m$  en  $V$ .

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow 1450 \times 8,20 = n \times 8,31 \times 295,1 \rightarrow n = 4,849 \text{ mol}$$

$$m = n \cdot M \rightarrow m = 4,849 \times 18,0 = 87,3 \text{ g}$$

$$V = m / \rho \rightarrow V = 87,3 / 0,998 = 87,4 \text{ mL} \rightarrow \mathbf{8,74 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}$$



---

Opgave 66

---

Methaan en propaan bij hogedruk in dezelfde gascilinder.

Kritische temperatuur methaan: 191 K en van propaan: 370 K

Kamertemperatuur: 273 K

Methaan is boven zijn kritische temperatuur aanwezig, kan direct uit de fles stromen.

Propaan is onder zijn kritische temperatuur aanwezig: vooral als vloeistof. Veel van het propaan moet eerst verdampen voor het als gas kan uitstromen.

---

---

Opgave 67

---

Campinggas is blijkbaar vooral als vloeistof in het tankje aanwezig. De kritische temperatuur is dus hoger dan gangbare buitentemperatuur.

---

---

Opgave 68

---

Kritische temperatuur zuurstof: 154 K.

Zuurstof in een gasfles bij kamertemperatuur is dus als (zeer verdicht) gas aanwezig. Niet als vloeistof.

---

---

Opgave 69

---

Ethanolvlies in draadraam van  $5,0 \times 5,0$  cm.

Er zijn twee oppervlakken.

$$\sigma = 22 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\text{Dus } F = 2 \times 22 \cdot 10^{-3} \text{ N/m} \times 0,050 \text{ m} = \mathbf{2,2 \cdot 10^{-3} \text{ N}}$$

---

---

Opgave 70

---

Oppervlakte-energie bolvormige waterdruppels.

a *Bolvormige waterdruppel met  $V = 4,0 \text{ mm}^3$  Bereken de oppervlakte-energie.*

$$V_{bol} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad \text{en} \quad A_{bol} = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$E = \sigma \times A$$

$$V_{bol} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = 4,0 \rightarrow r = (3,0 / \pi)^{1/3} = 0,985 \text{ mm}$$

$$A_{bol} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \rightarrow 4 \times \pi \times 0,985^2 = 12,2 \text{ mm}^2 = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$E = \sigma \times A \rightarrow E = 0,073 \times 1,22 \cdot 10^{-5} = \mathbf{8,9 \cdot 10^{-7} \text{ J}}$$

b *Nu voor een druppel met  $V_{bol} = 2,0 \text{ mm}^3$*

$$V_{bol} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = 2,0 \rightarrow r = (1,5 / \pi)^{1/3} = 0,782 \text{ mm}$$

$$A_{bol} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \rightarrow 4 \times \pi \times 0,782^2 = 7,68 \text{ mm}^2 = 7,68 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$E = \sigma \times A \rightarrow E = 0,073 \times 7,68 \cdot 10^{-6} = \mathbf{5,6 \cdot 10^{-7} \text{ J}}$$

c Twee druppels van  $2,0 \text{ mm}^3$  samen:  $2 \times 5,6 \cdot 10^{-7} = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ J}$

Eén druppel van  $4,0 \text{ mm}^3 = 8,9 \cdot 10^{-7} \text{ J}$

Verschil:  $1,12 \cdot 10^{-6} \text{ J/m}^2 - 0,89 \cdot 10^{-6} \text{ J/m}^2 = \mathbf{2,3 \cdot 10^{-7} \text{ J}}$

Met andere woorden: één grote druppel is energetisch gunstiger dan twee kleine. Een waterdruppel laat zich niet zo gemakkelijk splitsen. Eerst zeep toevoegen om  $\sigma$  te verlagen.

---

### Opgave 71

---

Schaatsenrijder.

*Gegeven:* 6 pootjes, elk pootje maakt 1,0 mm contact.

*Gevraagd:*  $m_{\text{schaatsenrijder, max}}$

*Oplissing:*

Totale contactlengte: 6,0 mm, is 0,0060 m

$$F = \sigma \cdot l \rightarrow F = 73 \cdot 10^{-3} \times 0,0060 = 4,38 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

$$F = G = m \cdot g \rightarrow 4,38 \cdot 10^{-4} = m \times 9,81 \rightarrow m = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ kg, dus: } \mathbf{45 \text{ mg}}$$

---

### Opgave 72

---

Boompje.

*Gegeven:* Capillair met  $d = 0,050 \text{ mm}$

*Gevraagd:*  $h$  (stijghoogte water)

*Oplissing:*

Relatie tussen oppervlaktespanning en stijghoogte:  $\sigma = \frac{1}{2} r \cdot h \cdot \rho \cdot g$

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$r = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

**Natuurkunde voor het MBO, Deel 2** ISBN 9789491764431, 1<sup>e</sup> druk, Uitgeverij Syntax Media  
Hoofdstuk 5 Dampen. bladzijde 19

---

$$h = \frac{2 \times \sigma}{r \times \rho \times g} \rightarrow h = \frac{2 \times 7,3 \cdot 10^{-2}}{2,5 \cdot 10^{-5} \times 998 \times 9,81} = \mathbf{0,60 \text{ m}}$$

---

### Opgave 73

---

**Gegeven:** Capillair,  $h_{\text{water}} = 4,8 \text{ cm}$ ,  $h_{\text{ethanol}} = 1,8 \text{ cm}$ .

**Gevraagd:**  $\sigma_{\text{ethanol}}$

**Oplissing:**

$$\rho_{\text{water}} = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{ethanol}} = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Water: } \sigma = \frac{1}{2} r \cdot h \cdot \rho \cdot g \rightarrow 7,3 \cdot 10^{-2} = \frac{1}{2} r \times 998 \times 9,81 \times 0,048 \rightarrow r = 3,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{Ethanol: } \sigma = \frac{1}{2} r \cdot h \cdot \rho \cdot g \rightarrow \sigma = \frac{1}{2} \times 3,11 \cdot 10^{-4} \times 800 \times 9,81 \times 0,018 = \mathbf{2,2 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}}$$

---

### Opgave 74

---

Buretdruppels.

100 druppels = 4,68 g, dus 1 druppel: 0,0468 g

Op het moment dat een druppel loslaat geldt:  $m \cdot g = 2\pi \cdot r \cdot \sigma$

$$m = 4,68 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$r = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Invullen:

$$4,68 \cdot 10^{-5} \times 9,81 = 2 \times \pi \times 1,0 \cdot 10^{-3} \times \sigma \rightarrow \sigma = \mathbf{7,3 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}}$$

---

### Opgave 75

---

Voor verschillende vloeistoffen door dezelfde stalagmeter geldt:

$$\sigma_2 = \frac{m_2}{m_1} \times \sigma_1$$

$$\sigma_{\text{water}} = 0,0728 \text{ N/m}$$

$$m_{\text{water}} = 38,2 \text{ mg}$$

$$m_{\text{ethanol}} = 11,5 \text{ mg}$$

Invullen:

$$\sigma_{\text{ethanol}} = \frac{11,5}{38,2} \times 0,0728 = \mathbf{0,0229 \text{ N/m}}$$

### Opgave 76

---

Voor meting van de oppervlaktespanning volgens de ringmethode geldt:

$$\sigma = \frac{F_{\text{omhoog}} - F_z}{4\pi \cdot r}$$

$$F_{\text{omhoog}} = 0,0516 \text{ N}$$

$$F_z = m \cdot g \rightarrow 0,00432 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 0,0424 \text{ N}$$

$$r = 0,062 / 2 = 0,031 \text{ m}$$

Invullen:

$$\sigma = \frac{0,0516 - 0,0424}{4 \times \pi \times 0,031} = \mathbf{0,024 \text{ N/m}}$$

---

### Opgave 77

---

Glycerol.

$$\eta = 1,500 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\rho = 1,26 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

Invullen:  $v = 1,500 / 1,26 \cdot 10^3 = \mathbf{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}}$

---

### Opgave 78

---

*Wat is de eenheid van de apparaat-constante bij de capillair-viscosimeter?*

$$\eta = k \cdot \rho \cdot t \rightarrow \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s} = [\mathbf{k}] \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s} \rightarrow [\mathbf{k}]: \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \rightarrow \mathbf{\text{m}^2/\text{s}^2}$$

---

### Opgave 79

---

Capillair-viscosimeter

a Toon aan dat geldt:  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{t_1 \cdot \rho_1}{t_2 \cdot \rho_2}$

Voor vloeistof 1 geldt:  $\eta_1 = k \cdot \rho_1 \cdot t_1$

Voor vloeistof 2 geldt:  $\eta_2 = k \cdot \rho_2 \cdot t_2$

Delen we beide formules op elkaar dan kunnen we  $k$  wegdelen:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{k \cdot t_1 \cdot \rho_1}{k \cdot t_2 \cdot \rho_2} \rightarrow \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{t_1 \cdot \rho_1}{t_2 \cdot \rho_2}$$

- b De doorstroomtijd van een bepaalde siliconenolie met een dichtheid van  $762 \text{ kg/m}^3$  is  $12,2 \text{ s}$  terwijl die tijd voor water  $32,6 \text{ s}$  bedraagt. Bereken de dynamische viscositeit van de siliconenolie.

Met 1 is siliconenolie en 2 is water:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{t_1 \cdot \rho_1}{t_2 \cdot \rho_2} \rightarrow \frac{\eta_1}{1 \cdot 10^{-3}} = \frac{12,2 \cdot 762}{32,6 \cdot 998} \rightarrow \eta_1 = \mathbf{2,86 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$

### Opgave 80

Vallende kogel in water

Gegeven: kogeltje Fe, valt in 1: water, 2: siliconenolie.

Gevraagd: a)  $v_{\text{eind in water}}$  kogeltje  $d = 1,20 \text{ mm}$ , b)  $v_{\text{eind in water}}$  kogeltje  $d = 0,40 \text{ mm}$ ,  
c)  $v_{\text{eind in siliconenolie}}$  kogeltje  $d = 1,20 \text{ mm}$

Oplossing:

We gebruiken de formule:

$$\eta = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_{vl})}{9 \cdot v}$$

gegevens (Binas):

$$\rho_{\text{water}} = 0,998 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{ijzer}} = 7,87 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$r = 0,00060 \text{ m of } r = 0,00020 \text{ m}$$

$$\eta_{\text{water}} = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\eta_{\text{siliconenolie}} = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$v = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_{vl})}{9 \cdot \eta}$$

a Invullen:

$$v = \frac{2 \times 0,00060^2 \times 9,81 \times (7,87 \cdot 10^3 - 0,998 \cdot 10^3)}{9 \times 0,0010} = \mathbf{5,4 \text{ m/s}}$$

$5,4 \text{ m/s}$  is een flinke snelheid. Vermoedelijk is de stroming rond het kogeltje eerder turbulent dan laminair. Zodat de toepassing van de formule van Stokes hier twijfelachtig is.

b Invullen:

$$v = \frac{2 \times 0,00020^2 \times 9,81 \times (7,87 \cdot 10^3 - 0,998 \cdot 10^3)}{9 \times 0,0010} = \mathbf{0,60 \text{ m/s}}$$

c Invullen:

Uitwerkingen van de opgaven uit:

**Natuurkunde voor het MBO, Deel 2** ISBN 9789491764431, 1<sup>e</sup> druk, Uitgeverij Syntax Media  
Hoofdstuk 5 Dampen. bladzijde 22

---

$$v = \frac{2 \times 0,00060^2 \times 9,81 \times (7,87 \cdot 10^3 - 0,76 \cdot 10^3)}{9 \times 0,000490} = \mathbf{11 \text{ m/s}}$$

11 m/s is ook weer een hoge snelheid. De stroming rond het kogeltje zal turbulent zijn. De formule volgens Stokes mag je dan eigenlijk niet gebruiken.

---

### Opgave 81

---

Höppler viscosimeter

*Gegeven:*  $K = 1,290 \cdot 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ ,  $\rho_{\text{olie}} = 0,817 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{\text{kogel}} = 8,130 \text{ g/cm}^3$ ,  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $v = 42,6 \text{ m/s}^2$ .

*Gevraagd:*  $\eta$

*Oplissing:*

We gebruiken de formule:

$$\eta = K \cdot (\rho_k - \rho_v) \cdot t$$

$$\eta = 1,290 \cdot 10^{-7} \cdot (8,130 \cdot 10^3 - 0,817 \cdot 10^3) \cdot 42,6 = \mathbf{0,0402 \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$