

Temperatuur, thermische expansie en de ideale gaswet

Inleiding

- Inhoud

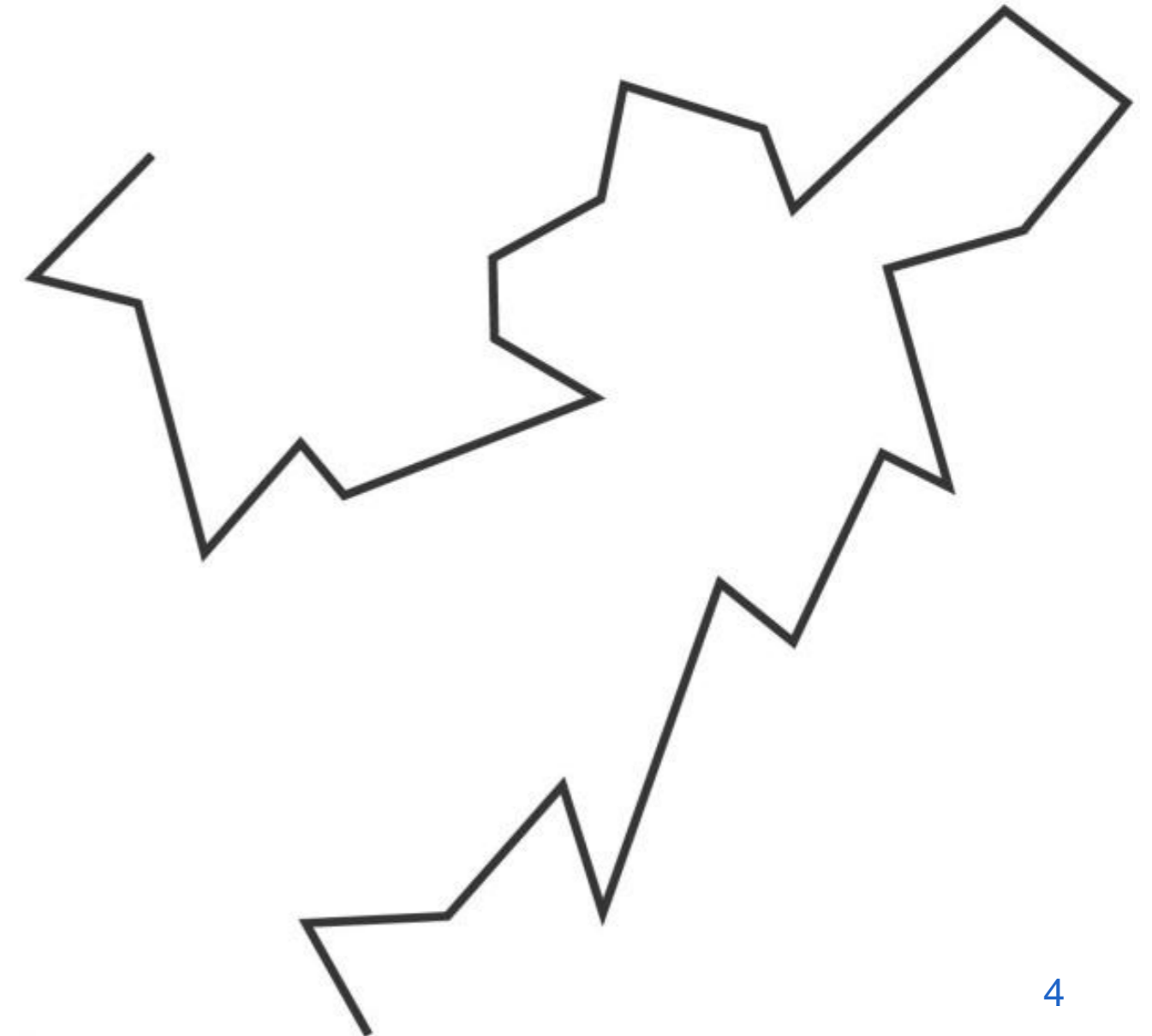
1. Atoomtheorie van de materie
2. Temperatuur en thermometers
3. Thermisch evenwicht
4. Thermische expansie
5. Thermische spanningen
6. De gaswetten en absolute temperatuur
7. De ideale gaswet
8. Het getal van Avogadro
9. De temperatuurschaal voor een ideaal gas: een standaard

Quiz

- Het woord atoom is Grieks voor:
 - A. “kleinste”
 - B. “microscopisch”
 - C. “ondeelbaar”
 - D. “onverwoestbaar”
- Welke van de volgende zaken is NIET afhankelijk van een temperatuursverandering?
 - A. Elektrische weerstand
 - B. Kleur uitgezonden door objecten
 - C. De lengte van een ijzeren staaf
 - D. De massa van een ijzeren staaf
- Bestaat er zoiets als “de nulde hoofdwet van de thermodynamica”?
 - A. Ja
 - B. Neen

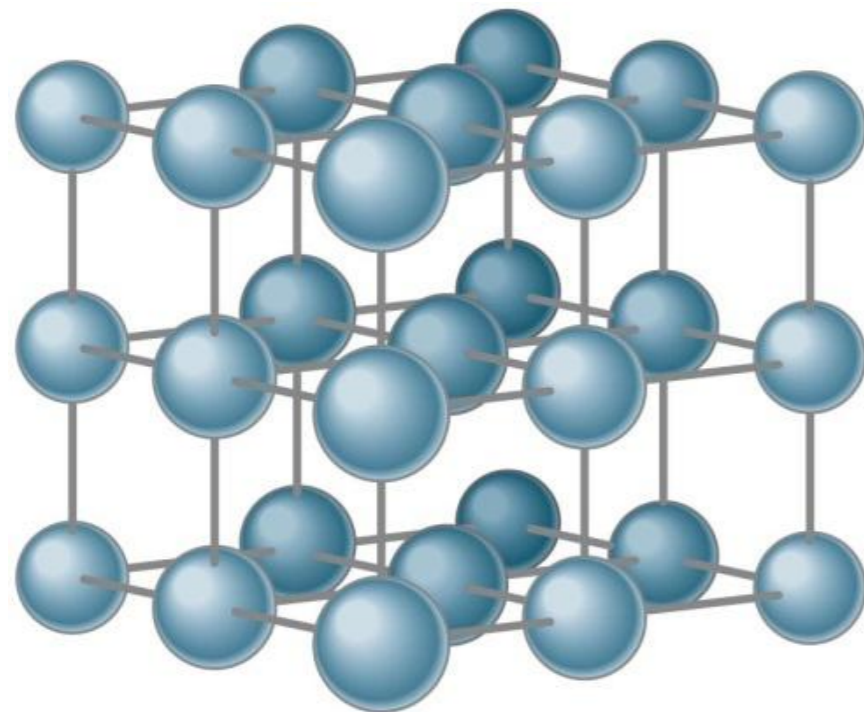
Atoomtheorie van de materie

- De atoommassa en molecuulmassa worden uitgedrukt atomaire massa-eenheden
 - Deze eenheid wordt gedefinieerd zodat de massa van $^{12}\text{C} = 12,000 \text{ u (Da)}$
 - $1 \text{ u} = 1 \text{ Da} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- Brownse beweging
 - Beweging langs kronkelwegen van stuifmeelkorrels in water
 - Ten gevolge van de botsing tussen watermoleculen

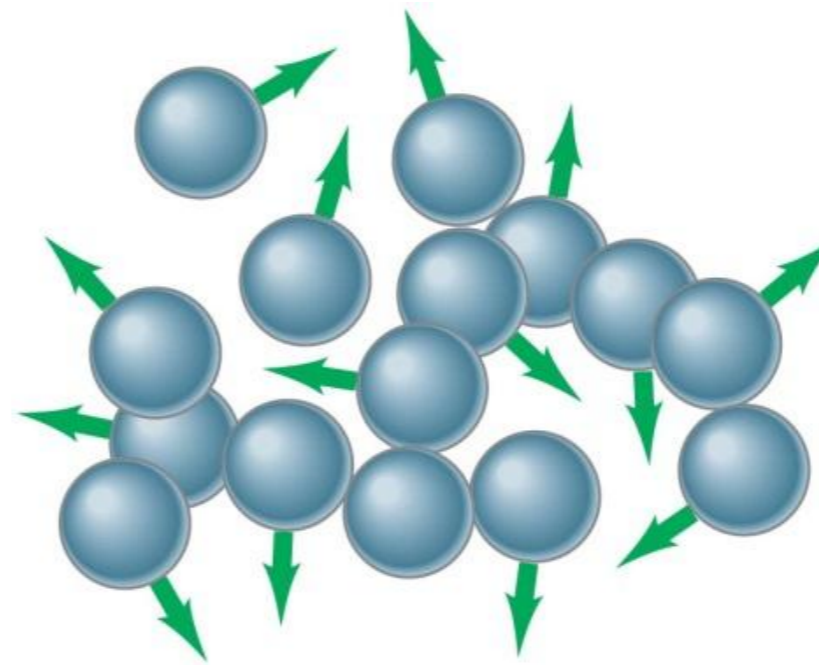


Atoomtheorie van de materie

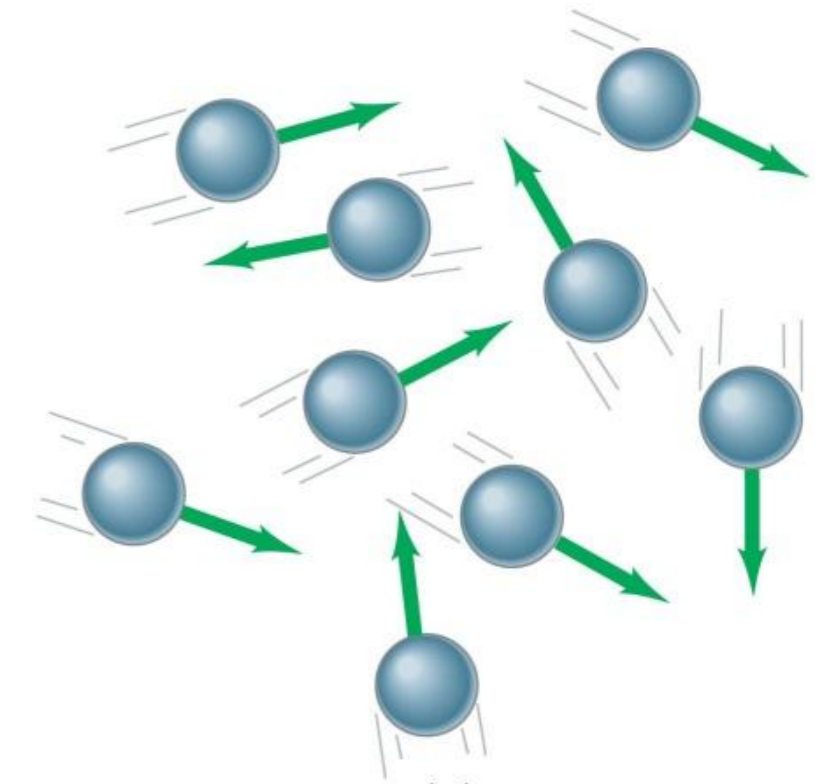
- Op microscopische schaal is de rangschikking van moleculen een kristalrooster bij vaste stoffen (a), vloeistoffen (b) en gassen (c) totaal verschillend



(a)



(b)



(c)



Temperatuur en thermometers

- De temperatuur is een maat voor hoe heet en koud iets is
- Veel eigenschappen van de materie zijn temperatuurafhankelijk
 - Bvb. meeste materialen zetten uit bij temperatuurstijging

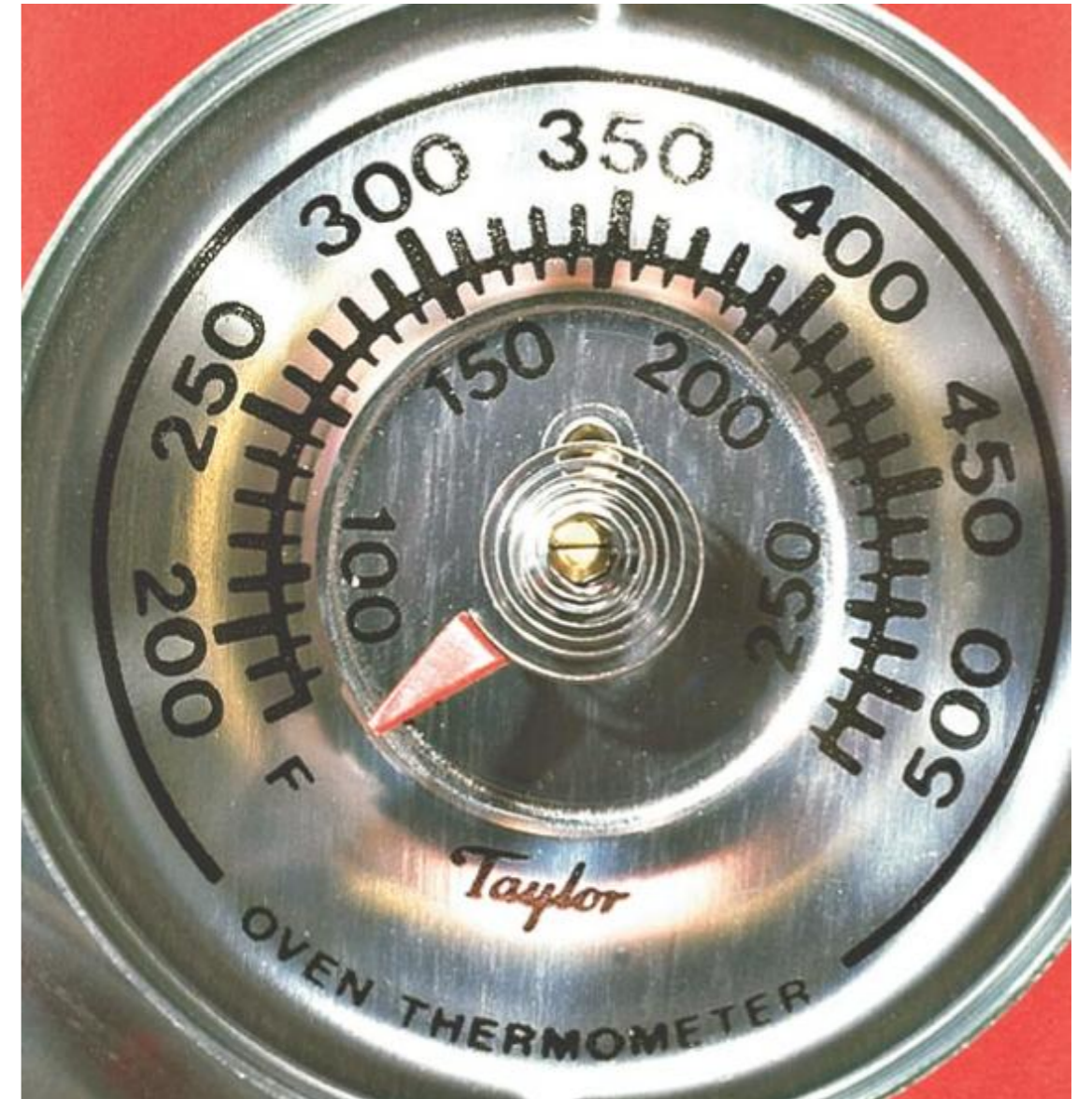
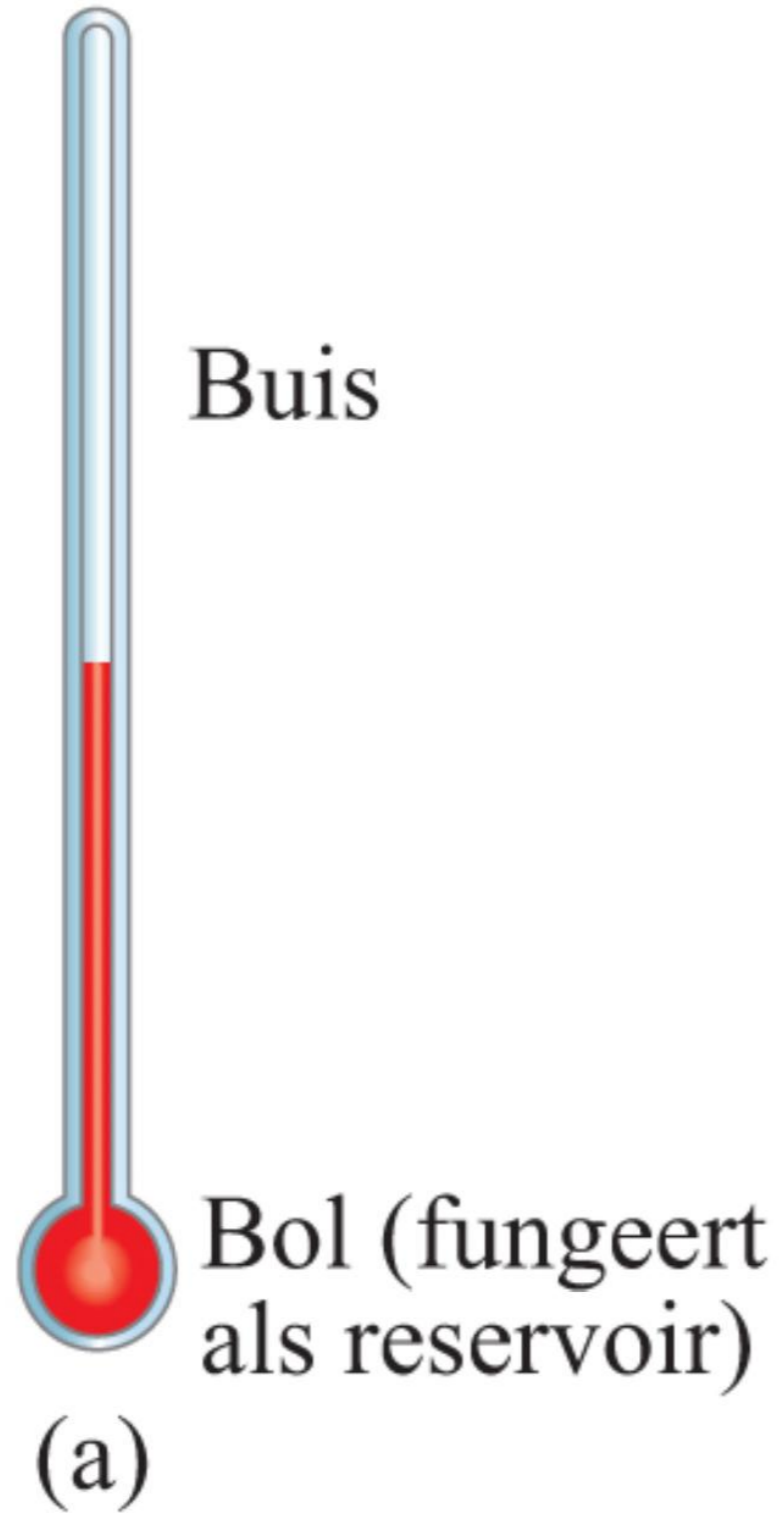


Temperatuur en thermometers

- Thermometers zijn instrumenten om de temperatuur te meten
- Werking gebaseerd op afhankelijkheid van de temperatuur van materie (bvb uitzetten)
- Accademie del Cimento (1657 – 1667), Florence, Italië

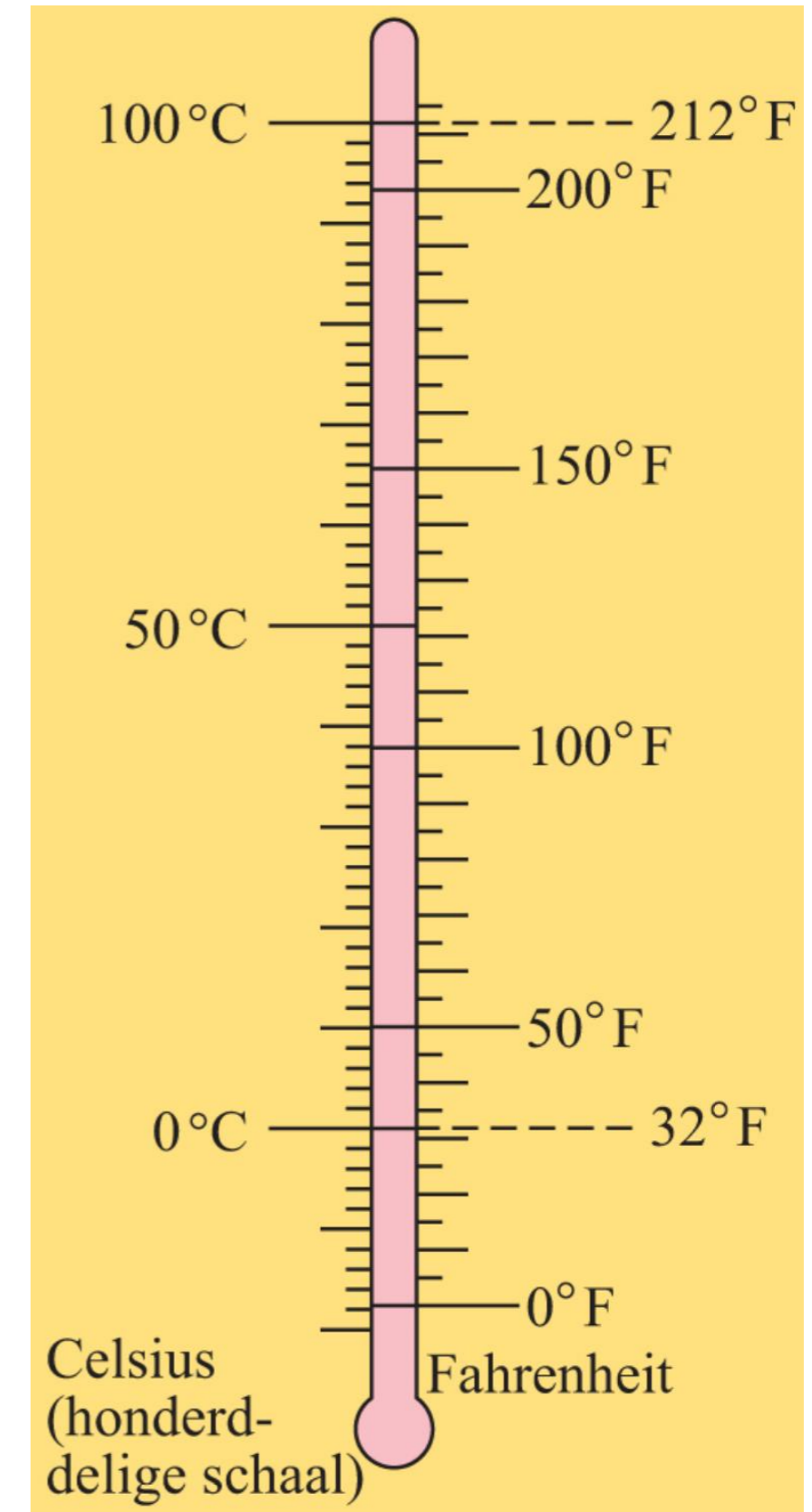


Temperatuur en thermometers



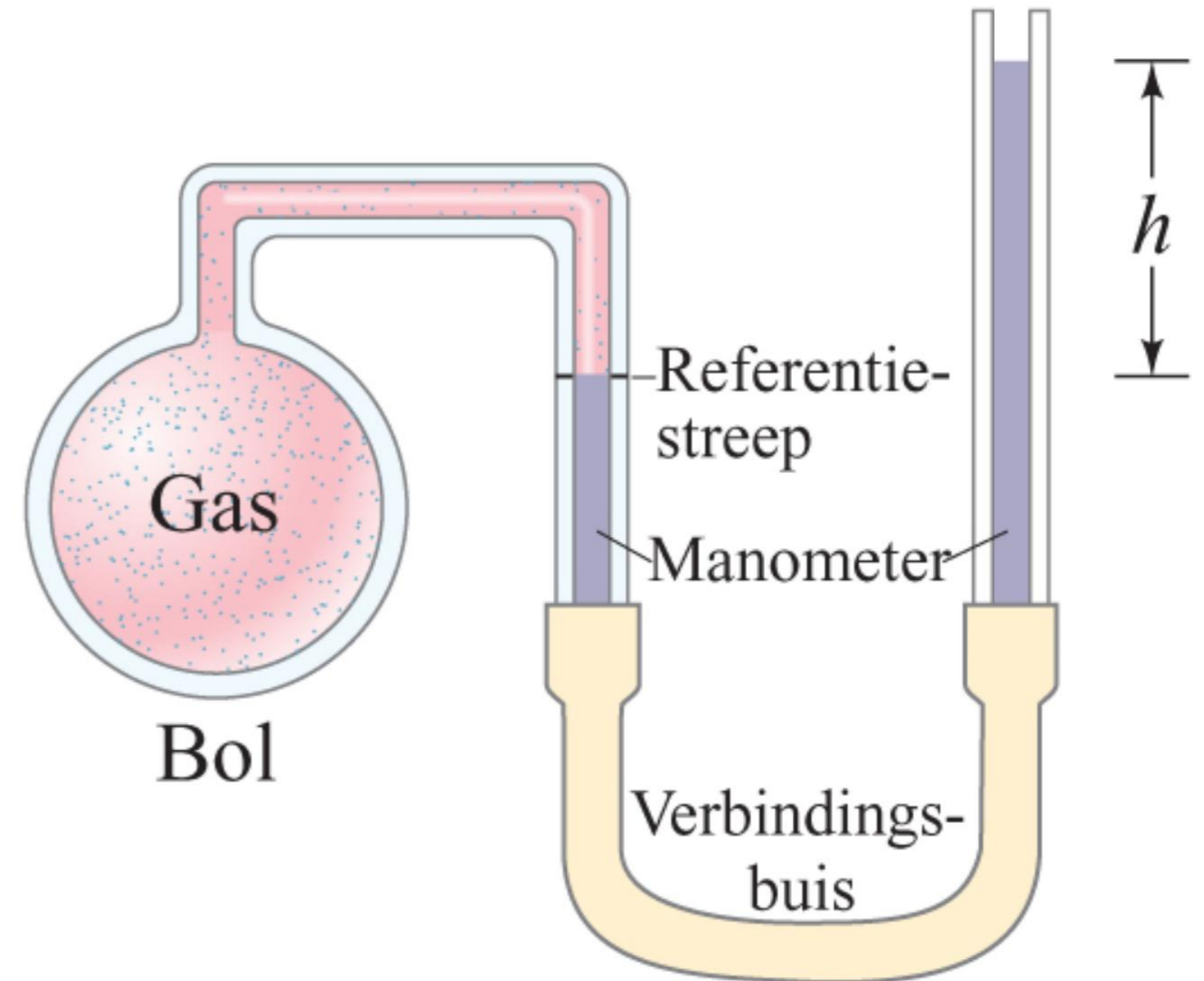
Temperatuur en thermometers

- Om temperatuur te meten moet je een numerieke schaal definiëren
 - Meest gebruikte:
 - Celsius
 - Fahrenheit
 - Kelvin!
 - 2 vaste punten kiezen
 - Vriespunt
 - Kookpunt



Temperatuur en thermometers

- Gasthermometer met constant volume
 - Afhankelijk van de eigenschappen van een ideaal gas
 - Blijven constant bij groot temperatuurbereik
 - Volume wordt constant gehouden
 - Buis verhogen of verlagen om gas op referentiestreep te houden
 - Wordt gebruikt om thermometers te kalibreren



Thermisch evenwicht en de nulde wet van de thermodynamica

- Wanneer 2 objecten met een verschillende temperatuur in thermisch contact komen, zullen ze uiteindelijk dezelfde temperatuur hebben
= thermisch evenwicht
- Nulde hoofdwet van de thermodynamica
 - Als twee systemen in thermisch evenwicht zijn met een derde systeem, dan zijn ze in thermisch evenwicht met elkaar
- Temperatuur is een eigenschap van een systeem die bepaalt of het systeem in thermisch evenwicht zal zijn met andere systemen

Quiz

- 2 glazen zitten vast in elkaar, de ene in de andere. Hoe krijg je ze terug uit elkaar?
 1. Warm water over beiden laten lopen
 2. Warm water in de binnenste
 3. Warm water over de buitenste
 4. Koud water over beiden
 5. Kapot maken
- Een stalen meetlat is zodanig gekalibreerd dat ze correcte afstanden meet bij kamertemperatuur. Hoe zullen de lengtemetingen zijn op een hete dag?
 1. Ze zullen te klein zijn
 2. Ze zullen hetzelfde zijn
 3. Ze zullen te groot zijn

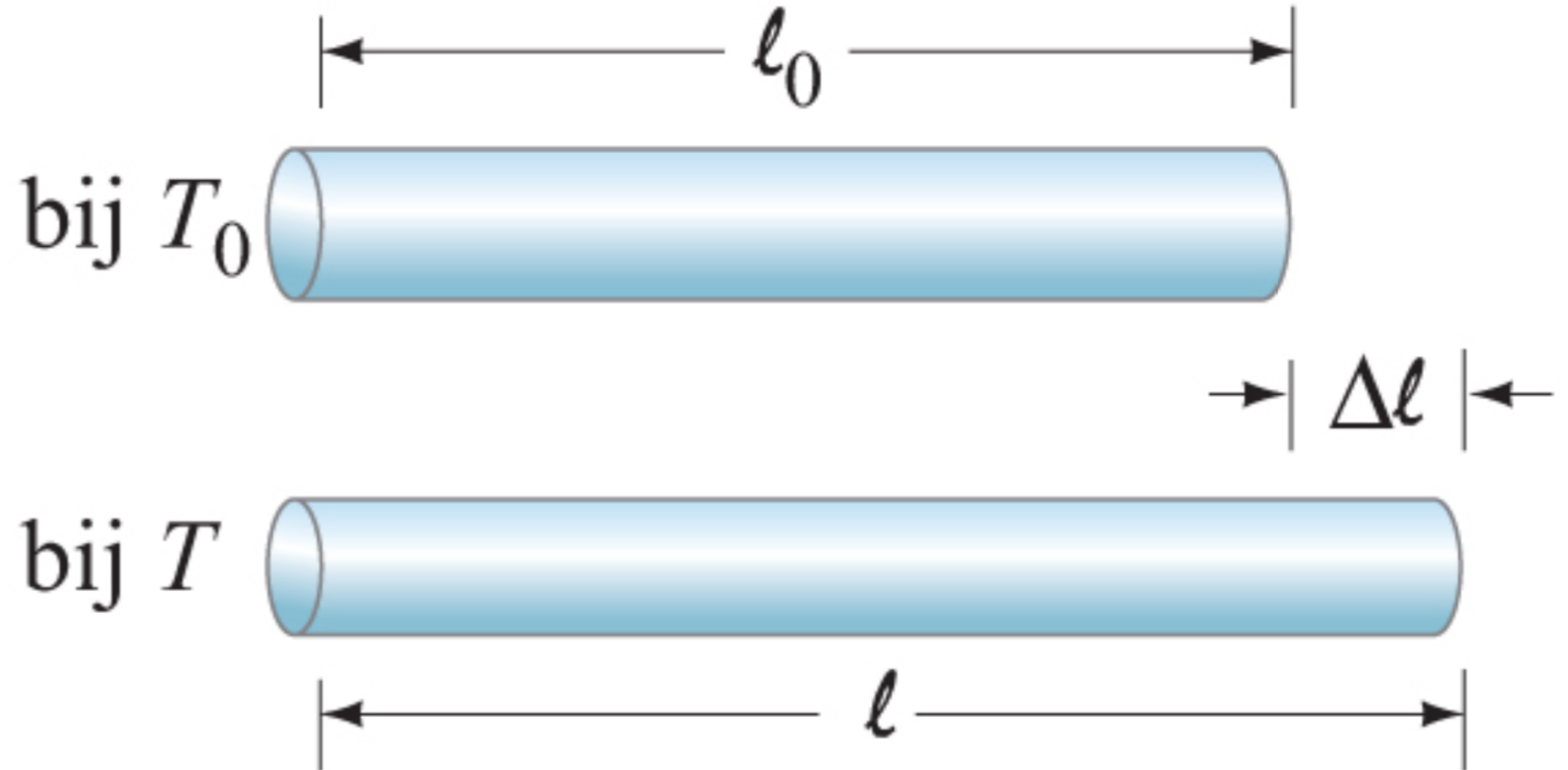


Thermische expansie

- Lineaire expansie

$$\ell = \ell_0(1 + \alpha \Delta T)$$

α = lineaire
uitzettingscoëfficiënt

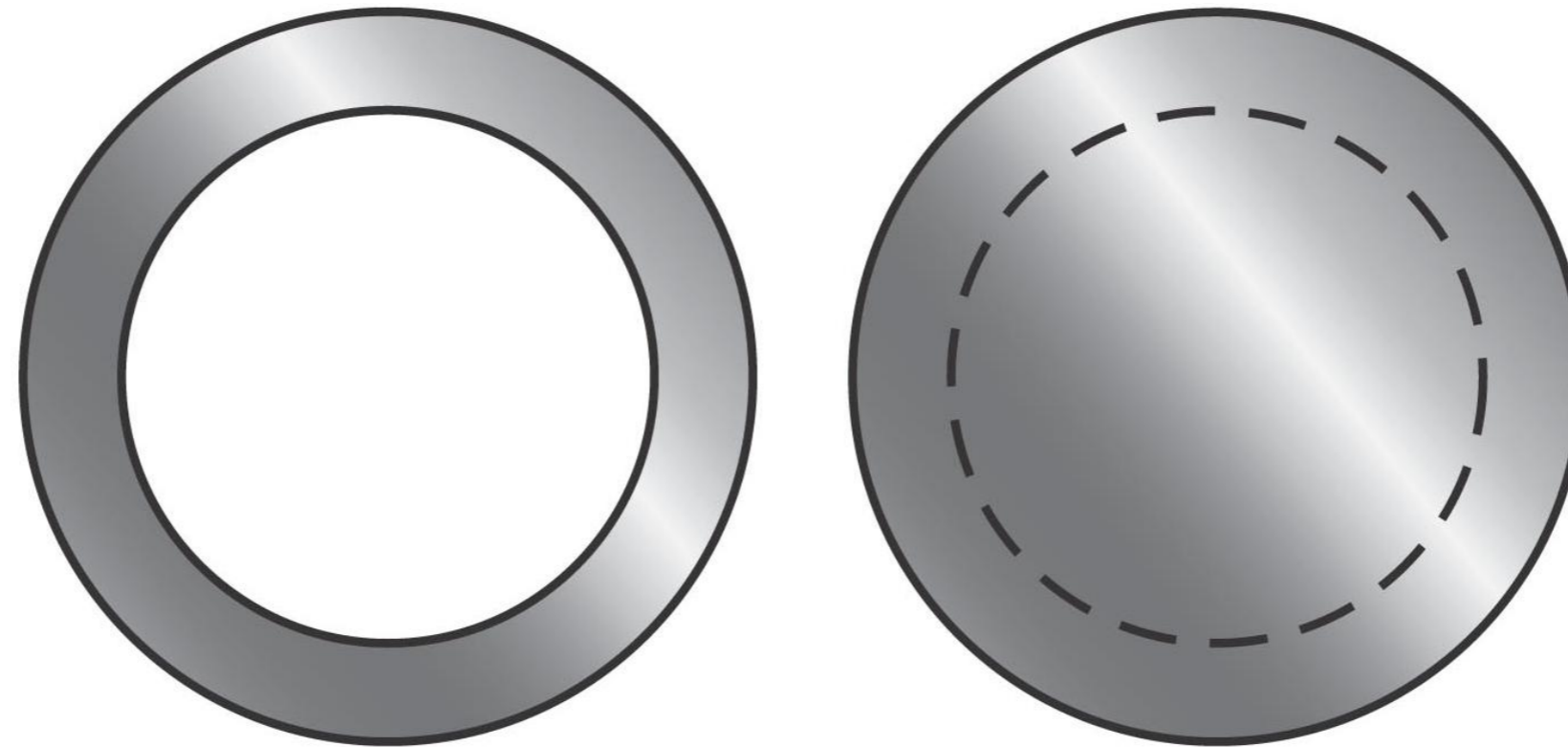


Thermische expansie

Materiaal	Lineaire uitzettings- coëfficiënt, α ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹	Volume-uitzettings- coëfficiënt, β ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹
<i>Vaste stoffen</i>		
Aluminium	$25 \cdot 10^{-6}$	$75 \cdot 10^{-6}$
Messing	$19 \cdot 10^{-6}$	$56 \cdot 10^{-6}$
Koper	$17 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$
Goud	$14 \cdot 10^{-6}$	$42 \cdot 10^{-6}$
IJzer of staal	$12 \cdot 10^{-6}$	$35 \cdot 10^{-6}$
Lood	$29 \cdot 10^{-6}$	$87 \cdot 10^{-6}$
Glas (Pyrex [®])	$3 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
Glas (gewoon)	$9 \cdot 10^{-6}$	$27 \cdot 10^{-6}$
Kwarts	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Beton en baksteen	$\approx 12 \cdot 10^{-6}$	$\approx 36 \cdot 10^{-6}$
Marmer	$1,4 - 3,5 \cdot 10^{-6}$	$4-10 \cdot 10^{-6}$
<i>Vloeistoffen</i>		
Benzine		$950 \cdot 10^{-6}$
Kwik		$180 \cdot 10^{-6}$
Ethylalcohol		$1100 \cdot 10^{-6}$
Glycerine		$500 \cdot 10^{-6}$
Water		$210 \cdot 10^{-6}$
<i>Gassen</i>		
Lucht (en de meeste andere gassen bij atmosferische druk)		$3400 \cdot 10^{-6}$

Thermische expansie

- Voorbeeld 17.4 Zetten gaten uit of krimpen ze?
 - Als je een dunne, ronde ring in de oven verhit, wordt het gat in de ring dan groter of kleiner?
 - Oplossing:



Thermische expansie

- Voorbeeld 17.5 Ring aan een staaf
 - Een ijzeren ring moet nauwsluitend om een cilindrische ijzeren staaf passen. Bij 20°C is de diameter van de staaf 6,445 cm en de binnendiameter van de ring 6,420 cm. Om over de staaf te kunnen glijden moet de ring circa 0,008 cm groter zijn dan de diameter van de staaf. Tot welke temperatuur moet de ring worden verhit om het gat zo groot te laten zijn dat de ring over de stang glijdt?

Thermische expansie

- Volume-expansie:

- Gelijkaardig aan lineaire expansie, maar ook voor vloeistoffen en gassen

β = volume-uitzettingscoëfficiënt $\Delta V = \beta V_0 \Delta T.$

- Beschouw balk:

- $V_0 = l_0 W_0 H_0 \Rightarrow V = l_0(1 + \alpha\Delta T)W_0(1 + \alpha\Delta T)H_0(1 + \alpha\Delta T)$
- $\Delta V = V - V_0 = V_0(1 + \alpha\Delta T)^3 - V_0 = V_0[3\alpha\Delta T + 3(\alpha\Delta T)^2 + (\alpha\Delta T)^3]$
- $\Delta V \approx (3\alpha)V_0\Delta T$

Thermische expansie

• Opgave:

• Een lange dunne balk van aluminium bij 0°C is 1,0000 m lang en heeft een volume van $1,0000 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Bij verhitting tot 100°C wordt de lengte van de staaf 1,0025 m. Wat is benaderend het volume van de balk bij 100°C?

- (a) $1,0000 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- (b) $1,0025 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- (c) $1,0050 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- (d) $1,0075 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- (e) $2,5625 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.

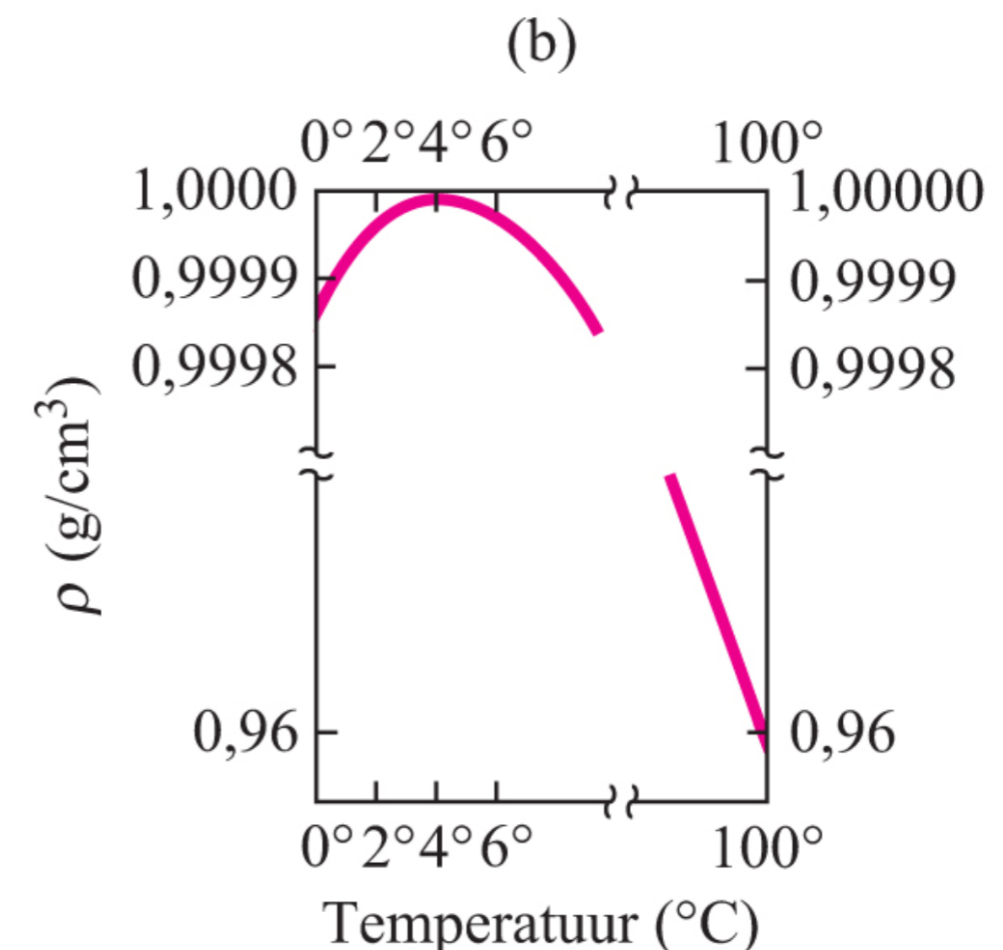
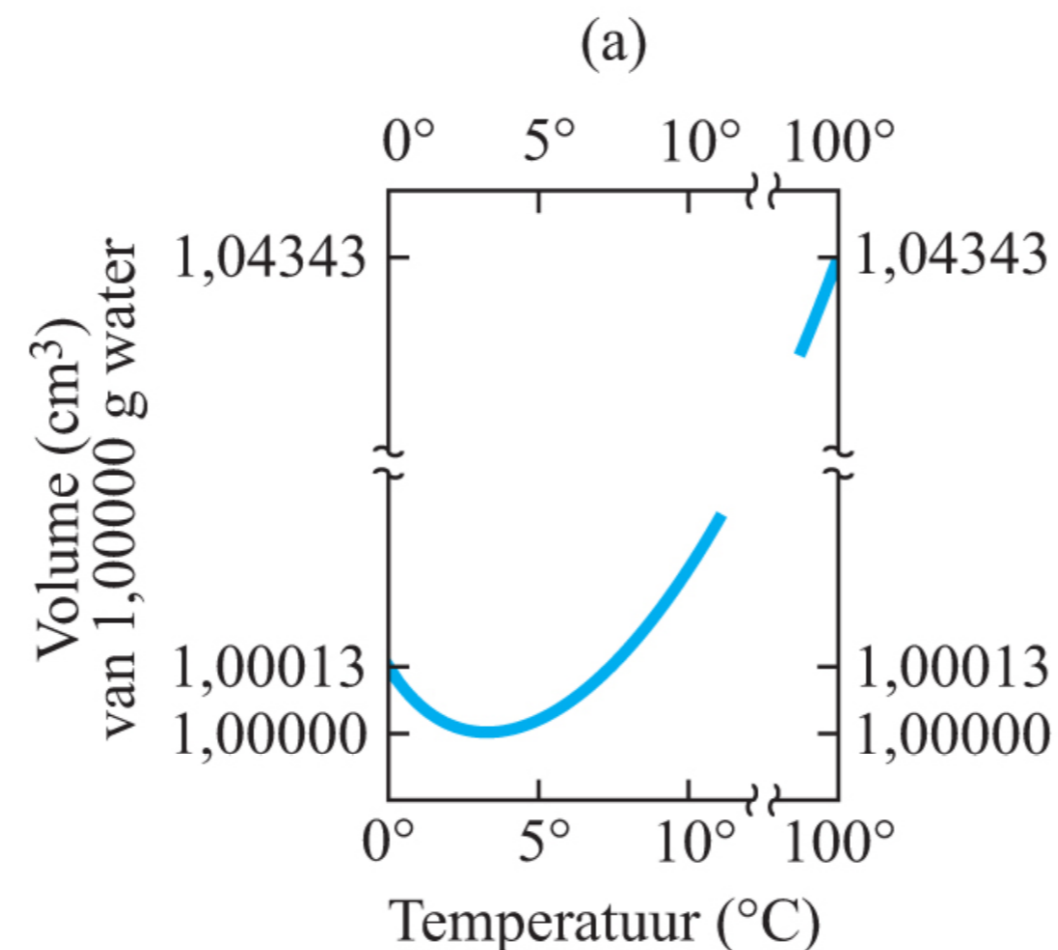
$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T.$$

Thermische expansie

- Voorbeeld 17.7 Benzinetank in de zon
 - De stalen benzinetank van 70 liter van een auto is bij 20°C gevuld. De auto staat in de zon en de tank bereikt een temperatuur van 40°C. Hoeveel benzine verwacht je dat er uit de tank stroomt?
 - Benzine: $\beta = 950 \cdot 10^{-6} \text{ (1/}^\circ\text{C)}$ $\Rightarrow \Delta V = 1,3 \text{ l}$
 - Tank: $\beta = 3 \alpha = 36 \cdot 10^{-6} \text{ (1/}^\circ\text{C)}$ $\Rightarrow \Delta V = 0,050 \text{ l}$
 - \Rightarrow Uitzetting van de tank heeft weinig effect
 - Opm: eurocenten uitsparen bij tanken?
 - Tanken wanneer het koud is, maar tank niet volledig vol ... meer moleculen voor dezelfde prijs

Thermische expansie

- Anomaal gedrag van water onder 4°C
 - Meeste stoffen zetten uniform uit bij temperatuurstijging
 - Water bij 0°C verwarmen => volume neemt af tot 4°C
 - Boven 4°C normaal gedrag
 - Grootste dichtheid bij 4°C
 - Door anomaal gedrag hebben planten en dieren meer overlevingskansen bij koud weer



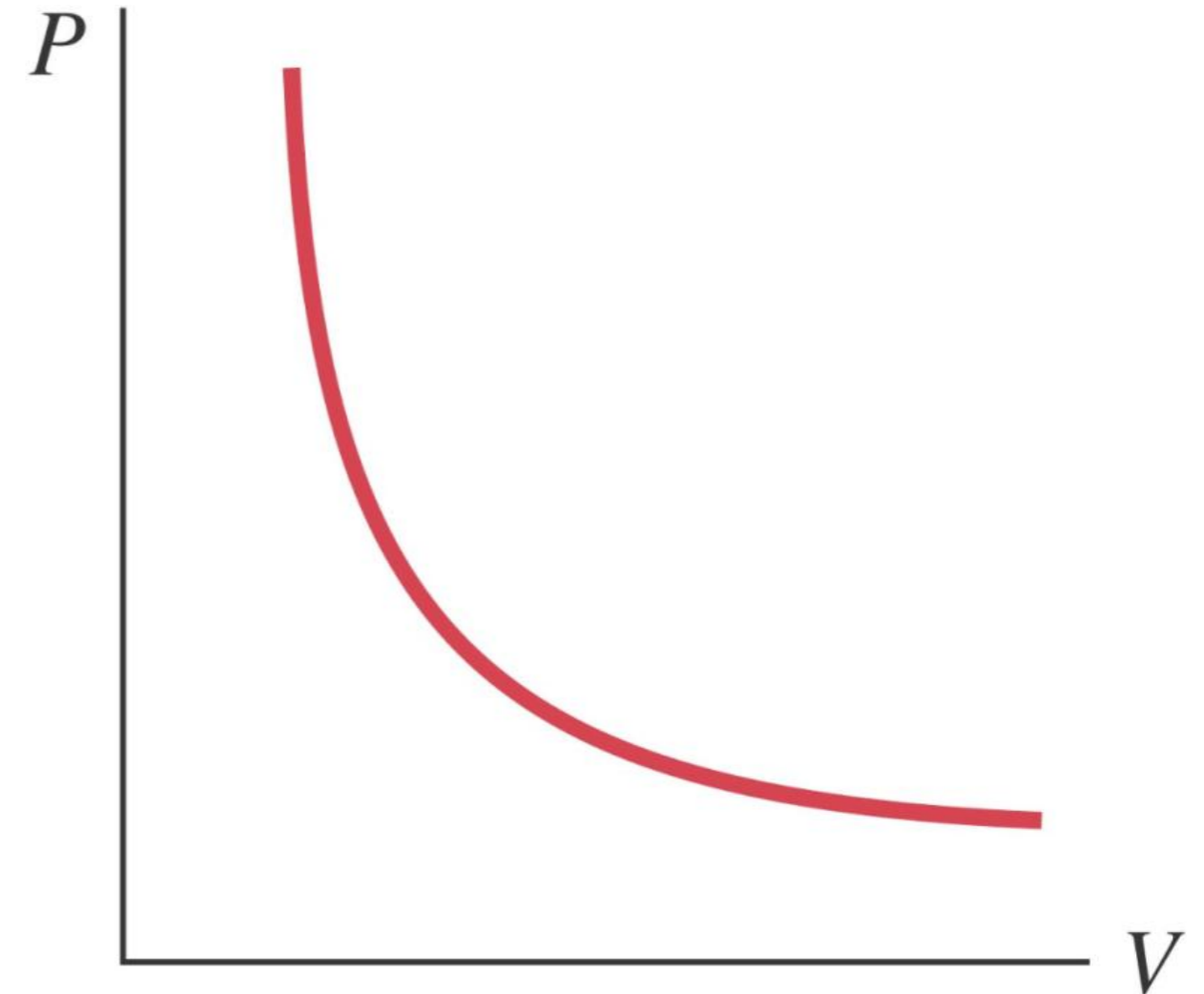
De gaswetten en de absolute temperatuur

- Toestandsvergelijking
 - Verband tussen volume, druk en temperatuur
 - Evenwichtstoestanden
 - Gassen die niet te dicht zijn en niet te dicht bij het kookpunt

- Wet van Boyle

$$V \propto \frac{1}{P}$$

- Het volume van een gas is omgekeerd evenredig aan de erop toegepaste druk wanneer de temperatuur constant gehouden wordt

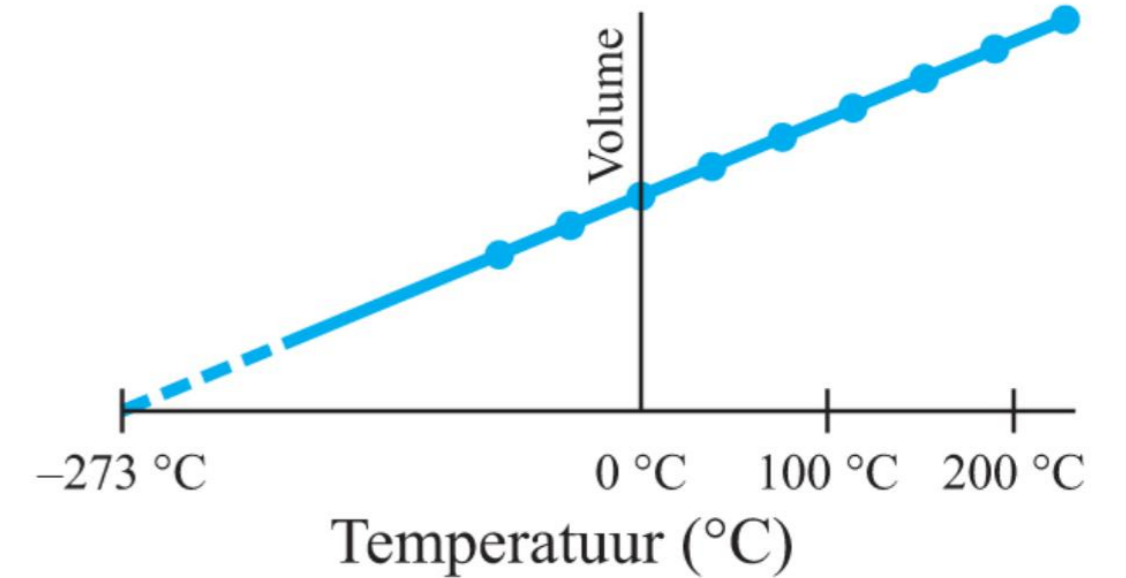


De gaswetten en de absolute temperatuur

• Wet van Charles

- Het volume van een gegeven hoeveelheid gas is recht evenredig met de absolute temperatuur, wanneer de druk constant gehouden wordt
- Bij het extrapoleren van de grafiek kom je bij een temperatuur van 0 K
- **Absolute nulpunt**

$$V \propto T$$

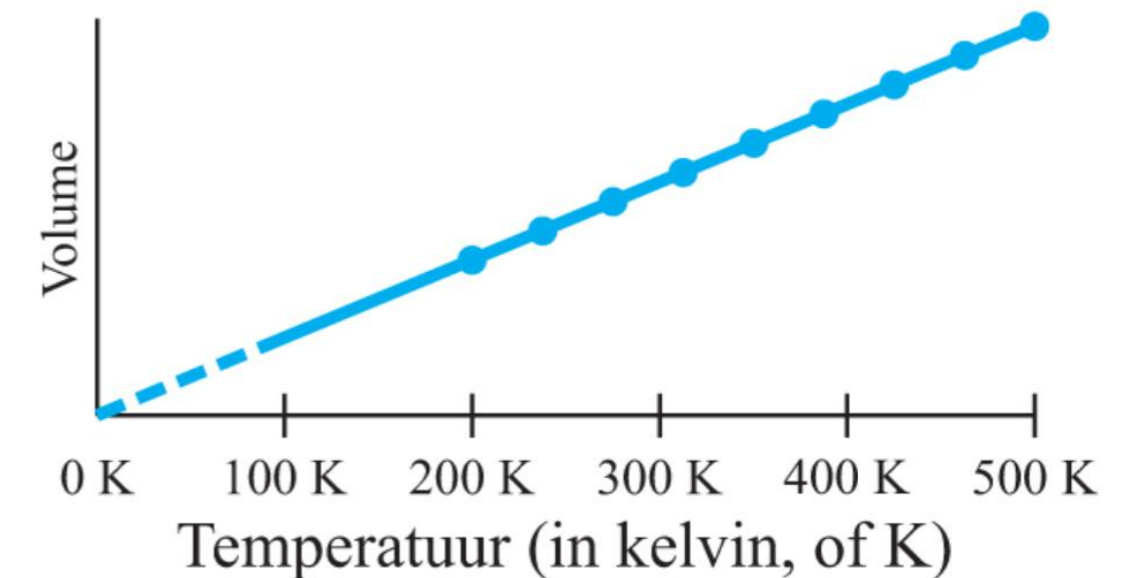


(a)

• Wet van Gay-Lussac

- De absolute druk van een gas is recht evenredig met de absolute temperatuur, wanneer het volume constant gehouden wordt

$$P \propto T$$



(b)

Quiz

- Een lege plastic fles ligt in de zon zodat de lucht er in opwarmt. Je sluit de stop van de fles en stopt de fles in de diepvriezer. Wat gebeurt er met de fles in de diepvriezer?
 1. Zet uit en barst
 2. Er verandert niets
 3. Krimpt in zodat de fles ineengedrukt wordt
 4. Moeilijk te zeggen; het is donker in de diepvriezer

De ideale gaswet

- De drie wetten combineren tot 1 wet

$$PV \propto T.$$



- Rekening houden met hoeveelheid gas
 - Het volume is recht evenredig met de hoeveelheid gas wanneer druk en temperatuur constant zijn

$$PV \propto mT.$$

- Evenredigheidsconstante is verschillend voor verschillende soorten gassen

De ideale gaswet

• Mol

- Gedefinieerd als de hoeveelheid stof die evenveel atomen of moleculen bevat als precies 12 gram koolstof-12
of: 1 mol is de hoeveelheid stof waarvan de massa in gram numeriek gelijk is aan de molecuulmassa van de stof

$$n \text{ (mol)} = \text{massa (gram)}/\text{moleculemassa (g/mol)}.$$

- Ideale gaswet:

$$PV = nRT,$$

R = universele gasconstante

$$\begin{aligned} R &= 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \\ &= 0.0821 \text{ (L} \cdot \text{atm)} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \\ &= 1.99 \text{ calories}/(\text{mol} \cdot \text{K}). \end{aligned}$$

Quiz

- Opgave:

- Een heteluchtballon, die aan één kant open is, stijgt op wanneer de lucht erbinnen door een vlam wordt verwarmd. Geldt voor de volgende eigenschappen dat ze wat betreft de lucht binnen de ballon hoger, lager of gelijk zijn aan de lucht buiten de ballon?

- Temperatuur
- Druk
- Dichtheid

- Opgave:

- Een stalen bol is gevuld met een ideaal gas bij $27,0^{\circ}\text{C}$ en $1,00$ atm absolute druk. Als er geen gas kan ontsnappen en de temperatuur wordt verhoogd naar 127°C , wat wordt dan de nieuwe druk?

- (a) $1,33$ atm (b) $0,75$ atm (c) $0,21$ atm
- (d) $1,00$ atm

Het oplossen van vraagstukken rond de ideale gaswet

- Voorbeeld 17.10 Volume van één mol bij STP
 - Bepaal het volume van 1,00 mol gas, aangenomen dat dit zich bij STP gedraagt als een ideaal gas

- Opgave:
 - Wat is het volume van 1,00 mol ideaal gas bij 546 K en 2 atm absolute druk:
 - (a) 11,2 l, (b) 22,4 l, (c) 44,8 l, (d) 67,2 l of (e) 89,6 l

Het oplossen van vraagstukken rond de ideale gaswet

- Opgave:

- Zou er bij 20°C (a) meer, (b) minder, of (c) dezelfde massa aan lucht in een ruimte zijn dan bij 0°C? Neem hierbij aan dat er een raam openstaat, zodat er lucht in en uit de kamer kan.

- Volume van 1 mol ideaal gas = 22,4 L
- Indien de hoeveelheid gas niet verandert
- Meet T altijd in Kelvin
- De druk moet de absolute druk zijn!

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}.$$

Het oplossen van vraagstukken rond de ideale gaswet

- Voorbeeld 17.13 Koude banden nakijken
 - Een autoband wordt gevuld tot een manometerdruk van 200 kPa bij 10°C. Na een rit van 100 km stijgt de temperatuur in de band tot 40°C. Wat is nu de druk binnen de band?



De ideale gaswet in termen van moleculen: het getal van Avogadro

R is voor alle gassen hetzelfde => universele constante

- Avogadro:

- Gelijke volumes aan gas bij dezelfde druk en temperatuur bevatten gelijke aantallen moleculen
= hypothese van Avogadro

$$PV = nRT = \frac{N}{N_A} RT,$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ moleculen/mol}$$

$$PV = NkT,$$

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}}{6.02 \times 10^{23} / \text{mol}} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K.}$$

Temperatuurschaal voor een ideaal gas: een standaard

• Ideale gas-temperatuurschaal

- Gebaseerd op de eigenschap van een ideaal gas dat de druk recht evenredig is met de absolute druk
- Om een schaal in stellen heb je 2 vaste punten nodig
 - $P = 0$ Pa bij $T = 0$ K
 - Tripelpunt van water
 - Punt waar de vaste, vloeibare en gasfase van water in evenwicht zijn
 - $P = 611,73$ Pa en $T = 0,01^\circ\text{C}$

$$T = (273.16 \text{ K}) \left(\frac{P}{P_{\text{tp}}} \right).$$

- Reëel gas verschillend van ideaal gas
- Afhankelijk van het gebruikte gas