

7. Gaswetten

- Opgave 1 Bereken de luchtdruk in bar op 3000 m hoogte in de Franse Alpen.
De soortelijke massa van lucht is $1,2 \text{ kg/m}^3$.
De druk op zeeniveau bedraagt 1 bar.
- Opgave 2 In een buisvormige ruimte worden experimenten in het luchtledige gedaan.
De uiteinden van de buis worden afgesloten door cirkelvormige deksels met een diameter van 2 m.
Bereken de kracht op deze deksels als de barometerstand 1035 mbar bedraagt.
- Opgave 3 Een verticale cilinder bevat 10 dm^3 lucht van 300 K en wordt aan de onderzijde afgesloten door een vrij beweegbare zuiger. Deze heeft een massa van 3 kg en een diameter van 11,28 cm.
De druk van de buitenlucht bedraagt 1020 mbar.
a) Hoe groot wordt de druk als we het geheel verwarmen tot 400 K ?
b) Bereken ook het nieuwe volume.
- Opgave 4 We sluiten het linker been van een open kwikbarometer aan op een ruimte.
De vloeistof in het rechter niet-aangesloten been stijgt daardoor 3 cm.
De barometerstand bedraagt 1020 mbar.
a) Bereken de overdruk.
b) Bepaal de absolute druk in deze ruimte in N/m^2 .
- Opgave 5 In een flesje limonade steken we een rietje. Daarna sluiten we de bovenzijde van het rietje met onze vinger af. De lengte van de luchtkolom tussen onze vinger en de vloeistof bedraagt dan 15 cm. We halen vervolgens het rietje uit de limonade en zien dat de luchtkolom 15,073 cm wordt. De barometerstand is 1025 mbar en de dichtheid van de limonade is 1010 kg/m^3 .
a) Bereken de druk van de lucht in het rietje in mbar.
b) Bereken de lengte van het rietje in cm.
- Opgave 6 We sluiten het linker been van een open kwikbarometer aan op een ruimte.
De vloeistof in het rechter niet aangesloten been stijgt daardoor 3 cm.
De doorsnede (dwarsoppervlakte) van het linker been is twee maal zo klein als de doorsnede van het rechter been.
Bereken de overdruk in deze ruimte in N/m^2 .
- Opgave 7 We sluiten het linker been van een open kwikbarometer aan op een ruimte.
De druk in de ruimte bedraagt 117680 Pa terwijl de buitendruk 1 bar is.
De diameter van het linker been is 2 cm en de diameter van het rechterbeen bedraagt 3 cm. Hoeveel stijgt de vloeistofspiegel in het rechterbeen?
- Opgave 8 Twee bollen A en B zijn via een dunne leiding met elkaar verbonden. In deze leiding zit een gesloten kraan. Bol A heeft een volume van 6 m^3 en bevat stikstof met een druk van 4 bar. Bol B heeft een volume van 10 m^3 en bevat zuurstof met een druk van 3 bar.
Bereken de einddruk als we de kraan openen en de temperatuur constant blijft.

- Opgave 9 Twee ballen A en B zijn via een dunne leiding met elkaar verbonden. In deze leiding zit een gesloten kraan. Bal A heeft een volume van 5 m^3 , een temperatuur van $200 \text{ }^\circ\text{C}$ en bevat stikstof met een druk van 4 bar. Bal B heeft een volume van 2 m^3 , een temperatuur van $400 \text{ }^\circ\text{C}$ en bevat zuurstof met een druk van 3 bar. Bereken de einddruk als we de kraan openen en de temperatuur van de ballen constant blijft.
- Opgave 10 Een cilinder bevat lucht met een temperatuur van $-23 \text{ }^\circ\text{C}$. Deze lucht wordt afgesloten door een vrij beweegbare zuiger die met de onderkant 5 cm vanaf de bodem staat. Hoe groot wordt die afstand als we de cilinder met inhoud verwarmen tot $77 \text{ }^\circ\text{C}$?
- Opgave 11 Een verticale cilinder bevat 10 dm^3 lucht van 300 K en wordt aan de bovenkant afgesloten door een vrij beweegbare zuiger. Deze heeft een massa van 3 kg en een oppervlakte van 100 cm^2 . De druk van de buitenlucht bedraagt 1020 mbar. Hoe groot wordt de druk in de cilinder als we het geheel verwarmen tot 400 K ?

De molecuulmassa van een stof is de massa van één molecuul van die stof, uitgedrukt in atomaire massa-eenheden (u). De molecuulmassa is de som van de atoommassa's van de afzonderlijke atomen waaruit het molecuul is opgebouwd. Omdat de atomen van een element meestal een mengsel zijn van verschillende *isotopen*, gaan we standaard uit van de normale verhouding van deze isotopen voor elk element. Het chemisch element waartoe een atoom behoort wordt bepaald door het aantal protonen in de kern. Voor een gegeven aantal protonen kan daarnaast het aantal neutronen in de kern variëren; we spreken dan van verschillende isotopen van hetzelfde element.

Het element chloor bijvoorbeeld heeft atoomnummer 17. Alle chlooratomen hebben dus 17 protonen in de kern, maar er zijn twee stabiele isotopen: 75,77% van de atomen hebben 18 neutronen, 24,23% hebben 20 neutronen in de kern. De atoommassa is dus of $17+18 = 35$ of $17+20 = 37$. Deze isotopen schrijven we respectievelijk als ^{35}Cl en ^{37}Cl .

- Opgave 12
- Hoeveel elektronen bevat een chlooratoom?
 - Bereken het aantal neutronen in de kern van het radioactieve ^{36}Cl .
 - Bereken de atoommassa van chloor.
 - Bepaal de molecuulmassa van chloorgas Cl_2 .
 - Hoe groot is de specifieke gasconstante R_s van chloorgas?
- Opgave 13
- Van stikstof komen twee isotopen voor: ^{14}N (99.632%) en ^{15}N (0,368%). Het atoomnummer van stikstof is 7.
- Bereken het aantal neutronen in de kern van ^{15}N .
 - Bepaal het aantal elektronen in een ^{15}N -atoom.
 - Bereken de atoommassa van stikstof.
 - Bepaal de molecuulmassa van stikstofgas N_2 .
 - Hoe groot is de specifieke gasconstante R_s van stikstofgas?

- Opgave 14 De atoommassa van zuurstof bedraagt 15.999 kg/kmol.
a) Bereken de molecuulmassa van zuurstofgas O_2 .
b) Wat is de massa van een kmol zuurstofgas?
c) Hoeveel moleculen bevat een kmol zuurstof?
d) Bereken de massa van een molecuul zuurstof.
e) Wat is het gewicht van een zuurstofmolecuul?
f) Hoe groot is de specifieke gasconstante R_s van zuurstofgas?
- Opgave 15 Bereken de massa van een hoeveelheid stikstof die zich in een ruimte van 5 m^3 bevindt. De druk van deze stikstof is $2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ bij een temperatuur van $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Voor R_s van stikstof zie 13e.
- Opgave 16 In een ruimte van 10 m^3 bevindt zich 25 kg van een onbekend gas. De druk van het gas bedraagt $2,14 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ bij een temperatuur van $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Bereken de molecuulmassa van dat onbekende gas. Welk gas kan dit zijn? (zie bijlage periodiek systeem)
- Opgave 17 In een vat met een volume van 7 m^3 bevindt zich 75 kg van een gas. De druk die dat gas uitoefent is 5 bar bij een temperatuur van $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Bereken de dichtheid van het gas bij een druk van $2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ en een temperatuur van 50 K.
- Opgave 18 Een cilinder bevat 40 liter zuurstof met een druk van 200 bar. De temperatuur bedraagt $17 \text{ }^\circ\text{C}$. Bereken de massa van de zuurstof in de cilinder. Voor R_s van zuurstof zie 14f.

De **thermodynamica** onderzoekt de warmteverschijnselen en hoe de materie zich gedraagt bij veranderingen van temperatuur en druk. Zij bestudeert de omzettingen van warmte en energie.

Eerste hoofdwet van de thermodynamica: $\Delta Q = \Delta U + W$ waarbij ΔQ = toevoerde warmte, ΔU = toename inwendige energie en W = verrichte uitwendige energie.

We onderscheiden isobarische ($p = \text{constant}$), isothermische ($T = \text{constant}$), isochorische ($V = \text{constant}$) en adiabatise (geen warmteuitwisseling dus $Q = 0$) processen:

	ΔQ	ΔU	W	formules
isobaar	$m \cdot C_p \cdot \Delta T$	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$p \cdot \Delta V = R \cdot \Delta T$	$V/T = C$
isotherm	$R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	0	$R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	$pV = C$
isochoor	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	0	$p/T = C$
adiabaat	0	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$-m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$pV^\kappa = C$

Verband tussen C_p , C_v en R_s : $C_p - C_v = R_s$

De wet van Poisson $p \cdot V^\kappa = \text{constant}$ ($\kappa = \frac{C_p}{C_v}$) kunnen we met de algemene gaswet

herleiden tot de alternatieve wetten $T \cdot V^{\kappa-1} = \text{constant}$ of tot $T \cdot p^{1-\kappa} = \text{constant}$.

Opgave 19 Een hoeveelheid zuurstof met een massa van 1 kg kan vrij uitzetten. Als we verwarmen van 10 °C tot 110 °C zet de zuurstof 0,2 m³ uit.
a) Bereken de door het gas verrichte arbeid.
b) Bereken de druk van de zuurstof.

Opgave 20 We verwarmen 0,6 kg zuurstof van 27 °C bij een constante druk van 2 bar. De verrichte uitwendige arbeid bedraagt 30 kJ.
a) Bereken de eindtemperatuur.
b) Bereken het eindvolume van de zuurstof.

Opgave 21 Van 1 m³ aardgas ($C_p = 1900 \text{ J/kgK}$ en $R_s = 441 \text{ J/kgK}$) met een temperatuur van 20 °C voeren we bij constante druk 300 kJ warmte toe. Het volume neemt daardoor toe met 0,6 m³.
a) Bereken de eindtemperatuur.
b) Bereken de einddruk van het aardgas.
c) Bereken de door het aardgas verrichte arbeid.

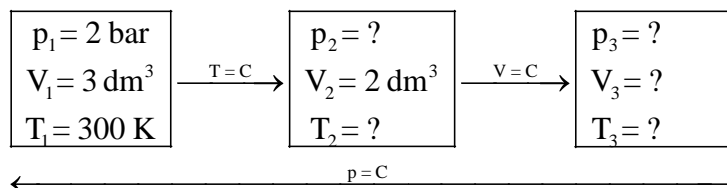
Opgave 22 We laten 1 m³ stikstof ($C_p = 1040 \text{ J/kgK}$ en $R_s = 297 \text{ J/kgK}$) met $p = 20 \text{ bar}$ en een temperatuur van 553 K adiabatisch expanderen tot een volume van 5 m³.
a) Bereken de nieuwe druk.
b) Bereken de eindtemperatuur.

Opgave 23 We comprimeren 4 m³ gas met een druk van 200 Pa tot een kwart van het volume. De compressie gebeurt adiabatisch. Bereken de einddruk van het gas als $C_p = 1000 \text{ J/kgK}$ en $C_v = 300 \text{ J/kgK}$

Bij een *kringproces* keert het gas na meerdere toestandsveranderingen weer terug in de begintoestand, zoals bij het volgende voorbeeld:

Een afgesloten hoeveelheid stikstof met $p = 2 \text{ bar}$, $V = 3 \text{ dm}^3$ en $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ (toestand 1) wordt isothermisch gecomprimeerd tot 2 dm^3 (toestand 2). Vervolgens vindt een isochore compressie plaats (toestand 3) waarna het gas via een isobare temperatuurverhoging de begintoestand wordt bereikt. Bereken de p , V en T van toestand 3 van het gas.

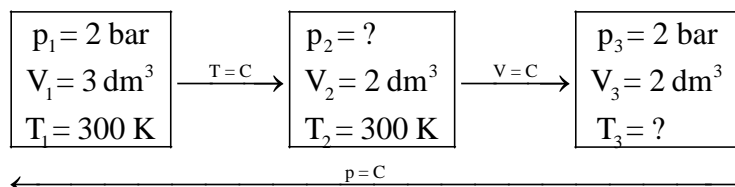
We beginnen altijd met het schematisch overzicht van de gegevens :



Omdat bij de overgang $1 \Rightarrow 2$ geldt $T = C$ volgt $T_2 = T_1 = 300 \text{ K}$

Omdat bij de overgang $2 \Rightarrow 3$ geldt $V = C$ volgt $V_3 = V_2 = 2 \text{ dm}^3$

Omdat bij de overgang $3 \Rightarrow 1$ geldt $p = C$ volgt $p_3 = p_1 = 2 \text{ bar}$



Voor T_3 geldt tenslotte $\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{2 \text{ dm}^3}{T_3} = \frac{3 \text{ dm}^3}{300 \text{ K}} \Rightarrow T_3 = \frac{2 \times 300}{3} = 200 \text{ K}$

Opgave 24 Een afgesloten hoeveelheid stikstof met $p = 4 \text{ bar}$, $V = 3 \text{ dm}^3$ en $T = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ (toestand 1) wordt isobarisch gecomprimeerd tot 2 dm^3 (toestand 2). Vervolgens vindt een isochore compressie plaats (toestand 3) waarna het gas via een isothermische temperatuurverhoging de begintoestand wordt bereikt. Bereken de p , V en T van toestand 3 van het gas.

Bijlage formules en tabellen bij gassen

Algemene gaswet: $\frac{p \cdot V}{T} = R$ (algemene gasconstante in J/K)

Gasconstante van 1 kg gas: R_s (specifieke gasconstante in J/kgK)

Gasconstante van 1 kmol gas: R_m (molaire gasconstante = 8314 J/kmolK)

$R = m \cdot R_s$ waarbij m = massa gas in kg

$R = n \cdot R_m$ waarbij n = aantal kmol gas (1 kmol = $6 \cdot 10^{26}$ moleculen)

$R_m = M \cdot R_s$ waarbij M = molecuulmassa (bijv. O_2 : $M = 32$ kg/kmol)

Druk van een vloeistofkolom: $p = \rho \cdot h \cdot g$

$$\frac{p \cdot V}{T} = m \cdot R_s \Rightarrow m = \frac{p \cdot V}{T \cdot R_s} \Rightarrow \rho \cdot V = \frac{p \cdot V}{T \cdot R_s} \Rightarrow \rho = \frac{p}{T \cdot R_s}$$

$$\text{Massaformule: } m = \frac{p \cdot V}{T} \cdot \frac{T_n}{p_n} \cdot \rho_n = \frac{p \cdot V}{T} \cdot \frac{T_n}{p_n} \cdot d_{gl} \cdot \rho_{n,l}$$

$$\text{Dichtheidsformule: } \rho = \frac{p}{T} \cdot \frac{T_n}{p_n} \cdot \rho_n = \frac{p}{T} \cdot \frac{T_n}{p_n} \cdot d_{gl} \cdot \rho_{n,l}$$

Verband tussen C_p , C_v en R_s : $C_p - C_v = R_s$

Adiabaat: $p \cdot V^\kappa = \text{constant}$ ($\kappa = \frac{C_p}{C_v}$) of $T \cdot V^{\kappa-1} = \text{constant}$ of $T \cdot p^{1-\kappa} = \text{constant}$.

	ΔQ	ΔU	W	formules
isobaar	$m \cdot C_p \cdot \Delta T$	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$p \cdot \Delta V = R \cdot \Delta T$	$V/T = C$
isotherm	$R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	0	$R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	$pV = C$
isochoor	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	0	$p/T = C$
adiabaat	0	$m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$-m \cdot C_v \cdot \Delta T$	$pV^\kappa = C$

Verband tussen C_p , C_v en R_s : $C_p - C_v = R_s$

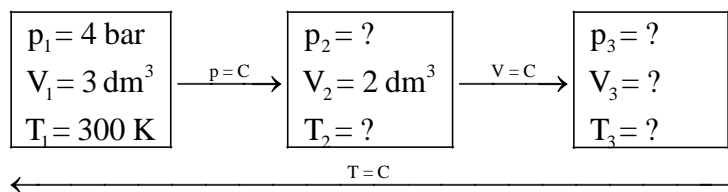
De wet van Poisson $p \cdot V^\kappa = \text{constant}$ ($\kappa = \frac{C_p}{C_v}$) kunnen we met de algemene gaswet

herleiden tot de alternatieve wetten $T \cdot V^{\kappa-1} = \text{constant}$ of tot $T \cdot p^{1-\kappa} = \text{constant}$.

Antwoorden gaswetten

- 1 0,64 bar
- 2 325154,84 N
- 3 a) 98998 Pa b) 13,33 dm³
- 4 a) 8160 Pa b) 110160 Pa
- 5 a) 102004 Pa b) 19,988 cm
- 6 12240 Pa
- 7 4 cm
- 8 3,375 bar
- 9 3,78 bar
- 10 7 cm
- 11 105000 Pa
- 12 a) 17 b) 19 c) 35,485 kg/kmol d) 70,970 kg/kmol e) 117,15 J/kgK
- 13 a) 8 b) 7 c) 14,0037 kg/kmol d) 28,0074 kg/kmol e) 296,85 J/kgK
- 14 a) 31,998 kg/kmol b) 31,998 kg c) $6 \cdot 10^{26}$ d) $5,3333 \cdot 10^{-26}$ kg
e) $5,3333 \cdot 10^{-25}$ N f) 259,83 J/kgK
- 15 1,1304 kg
- 16 28
- 17 2,554 kg/m³
- 18 10,617 kg
- 19 a) 25983 J b) 129,92 kPa
- 20 a) 219,43 °C b) 0,38385 m³
- 21 a) 468,8 K b) 116052,66 Pa c) 69631,6 J
- 22 a) 2,10 bar b) 290,33 K
- 23 20318 Pa

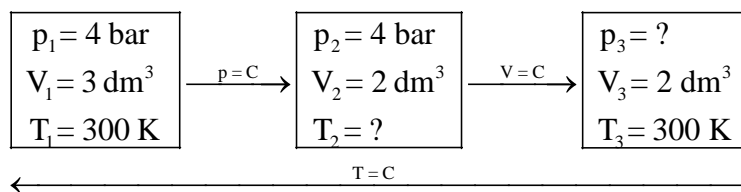
24



Omdat bij de overgang $1 \Rightarrow 2$ geldt $p = C$ volgt $p_2 = p_1 = 4 \text{ bar}$

Omdat bij de overgang $2 \Rightarrow 3$ geldt $V = C$ volgt $V_3 = V_2 = 2 \text{ dm}^3$

Omdat bij de overgang $3 \Rightarrow 1$ geldt $T = C$ volgt $T_3 = T_1 = 300 \text{ K}$



Voor p_3 geldt tenslotte $p_3 \cdot V_3 = p_1 \cdot V_1 \Rightarrow p_3 \times 2 = 4 \times 3 \Rightarrow p_3 = 6 \text{ bar}$