Gaswetten

FLESJE ALCOHOL

Bij de drogist kun je voor ontsmettingsdoeleinden flesjes alcohol kopen. Deze alcohol is ongeschikt voor consumptie. Volgens de theorie is de verdamping aan het oppervlak afhankelijk van de temperatuur en de oppervlakte. Bij gegeven temperatuur en grootte van het oppervlak verlaat iedere seconde een vaste hoeveelheid moleculen de vloeistof.
Een gesloten flesje zit half vol alcohol.
De temperatuur is 20 °C en de oppervlakte 9 cm².
Er vindt de zojuist besproken verdamping plaats.

A Leg uit waarom ondanks de verdamping het vloeistofniveau niet daalt.

De ruimte boven de vloeibare alcohol is 29,3 cm³ groot.
De druk erin bedraagt 1014 hPa.

B Bereken hoeveel mol zich in die ruimte bevindt.

Uitwerking:

A Per seconde verlaat een vast aantal alcoholmoleculen de vloeistof. In het gesloten flesje bevinden zich boven de vloeistof ook alcoholmoleculen. Sommige daarvan hebben of krijgen een snelheid in de richting van de vloeistof en komen daar in terecht. Als het vloeistofniveau niet daalt, zijn dat er evenveel als er uit ontsnappen.

B $$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1014 \cdot 10^{2} \times 29{,}3 \cdot 10^{-6}}{8{,}31 \times (273 + 20)} = 1{,}22 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$.

BALLON

De luchtdruk is vandaag 1068 hPa bij een temperatuur van maar 11 °C.
In een ballon van 5,00 dm^3 zit helium met een overdruk van 2,0 kPa.
Bereken de massa van het helium in de ballon.

Uitwerking:

De druk in de ballon is $1068 \cdot 10^2 + 2{,}0 \cdot 10^3 = 1088 \cdot 10^2$ Pa
$V = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ m^3
$T = 273 + 11 = 284$ K
De *algemene gaswet* luidt $pV = nRT$
$108800 \times 5{,}0 \cdot 10^{-3} = n \times 8{,}31 \times 284 \Rightarrow n = 0{,}231$ mol
voor helium geldt $M = 4{,}0$ g
$\Rightarrow m = n \times M = 0{,}231 \times 4{,}0 = 0{,}92$ g
óf
$m = \rho \times V = \rho_0 \times V_0$
$\rho_0 = 0{,}178$ kg m^{-3}
De druk in de ballon is $1068 \cdot 10^2 + 2{,}0 \cdot 10^3 = 1088 \cdot 10^2$ Pa
$V = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ m^3
$T = 273 + 11 = 284$ K

$$\frac{pV}{T} = \left[\frac{pV}{T}\right]_0 \Rightarrow \frac{1088 \cdot 10^{2} \times 5{,}00 \cdot 10^{-3}}{284} = \frac{1013 \cdot 10^{2} \times V_0}{273}$$

$\Rightarrow V_0 = 5{,}16 \cdot 10^{-3}$ m^3
$m = \rho \times V = \rho_0 \times V_0 = 0{,}178 \times 5{,}16 \cdot 10^{-3} = 0{,}92 \cdot 10^{-3}$ kg

GASSEN

In 1,00 liter lucht van 9°C zitten $2{,}6 \cdot 10^{22}$ moleculen.

A Bereken de druk van de lucht.
B Maak een schatting van de gemiddelde afstand tussen de moleculen.
C Bereken de massa van die 1,00 liter lucht.

De gemiddelde kinetische energie van de moleculen is $\frac{3}{2}kT$. Hierin is k de constante van Boltzmann: $1{,}38066 \cdot 10^{-23}$ J/K.

D Bereken de gemiddelde kinetische energie van een molecule, in eV, bij de gegeven temperatuur.

Uitwerking:

A $pv = nRT \Rightarrow$ $$p = \frac{nRT}{V} = \frac{\frac{2{,}6 \cdot 10^{22}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} \times 8{,}31 \times (273 + 9)}{1{,}00 \cdot 10^{-3}} = 1{,}01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

B Ieder molecule heeft de beschikking over $1:(2{,}6 \cdot 10^{22})$ dm³. Als je dat ziet als een kubus, waarin het molecule in een hoekje zit, dan is de ribbe van die kubus

$$\sqrt[3]{\frac{1{,}00 \cdot 10^{-3}}{2{,}6 \cdot 10^{22}}} = 3{,}4 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

C $m = \rho V = \rho_0 \times V_0$. Dit laatste is nodig omdat de dichtheid in BINAS gegeven is onder 'normale' omstandigheden. V_0 bereken je met de algemene gaswet.

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} \Rightarrow V_0 = 1{,}00 \cdot 10^{-3} \times \frac{1{,}01}{1{,}013} \times \frac{273}{282} = 9{,}65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$m = 1{,}293 \times 9{,}65 \cdot 10^{-4} = 0{,}0012$ kg

D $U_{kin} = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2} \times 1{,}38 \cdot 10^{-23} \times 282 = 5{,}8 \cdot 10^{-21}$ J = 0,036 eV

GASSEN

In 1,00 liter lucht van 9°C heerst een druk van 1012 mbar.

A Bereken de druk van de lucht als de temperatuur verhoogd wordt tot 40°C en tegelijk het volume toeneemt met 10%.

Vanuit de oorspronkelijke toestand wordt bij constante temperatuur het volume gehalveerd.

B Teken de *p,V*-grafiek die bij dit proces hoort.

BALLON

Een weerballon is gevuld met helium en blijkt op een hoogte van 38 km te zijn opgezwollen tot een volume van $8{,}0 \cdot 10^5$ m³ ! De druk in de ballon is dan nog maar 500 Pa en de temperatuur is –43°C. Het gas komt uit heliumcilinders met een volume van 75 liter, een begindruk van $2{,}1 \cdot 10^7$ Pa en een temperatuur van 25°C

A Bereken hoeveel cilinders men nodig had voor het vullen van de ballon.

B Bereken de massa van het in de ballon aanwezige helium.

C Maak een schatting van de gemiddelde afstand tussen de heliumatomen.

REGEN

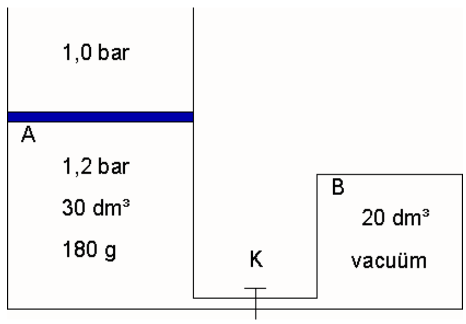
Op het plat dak van de garage van 3,00 m bij 6,00 m staat 4,2 cm regenwater.

A Bereken de druk van het water op dat dak

B Bereken de massa van de hoeveelheid water op het dak.

TWEE VATEN

Twee vaten A en B zijn met elkaar verbonden door een buisje met een kraan.
De zuiger in A kan wrijvingsloos bewegen.
De buitenluchtdruk is 1,0 bar. De oppervlakte van de zuiger op A is 2,0 dm².
Zie verder de tekening.



A Bereken de massa van de zuiger.

B Bereken hoeveel gas door de kraan gaat als men dit opent.

BUIS MET KWIK

Een buis met een inwendige diameter van 1,8 mm is aan een zijde gesloten. Bij de huidige temperatuur van 20°C heeft de luchtkolom, die afgesloten is door een 10 cm lange kwikkolom, een lengte van 13 cm als de buis op tafel ligt en dus horizontaal is.
Jij pakt de buis zo vast dat de opening naar beneden wijst. Maar door je warme handen blijkt de lucht ook nog uit te zetten. De temperatuur stijgt daardoor tot 33°C in de buis.

A Bereken hoe lang de buis moet zijn als je wilt voorkomen dat er kwik uit komt.
B Bereken de massa van de lucht in de buis.

BUISJE KWIK

In een buisje met maar een doorsnede *A* = 0,60 mm^2 bevindt zich een kwikkolom van 20 cm. Men keert het buisje om en het kwik blijkt er niet uit te vallen. Zie tekening.
Bereken de grootte van alle verticaal werkende krachten op het kwik.

DIEPVRIES

Een diepvrieskast heeft een inhoud van 120 liter. We sluiten de deur en het apparaat wordt ingeschakeld. We gaan ervan uit dat op dat moment alleen lucht in de vriezer zit. De thermostaat staat op –18°C.

A Bereken de onderdruk die in de vrieskist zal ontstaan, als de deur hermetisch sluit.

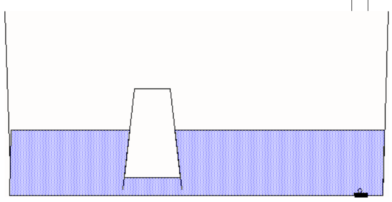
In de lucht zat echter ook waterdamp. Buiten examenprogramma

B Leid af of de *onder*druk in de vriezer bij een hermetisch sluitende deur groter of kleiner zal zijn bij de eindtemperatuur van –18°C, of misschien hetzelfde.

GLAS IN BAK

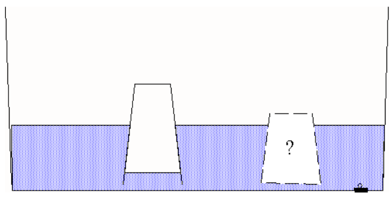
Een glas zet ik op zijn kop in de gootsteen waar wat water in staat. Het blijkt dat het water in de gootsteen dan 4,8 cm hoog staat, maar in het glas slechts 1,0 cm.

A Bereken de druk van de lucht in het glas.



In diezelfde gootsteen houd ik daarna een kleiner glas; de vorm van het glas is aangegeven door de streeplijn. De onderkanten zitten even ver onder water.

B Schets het waterniveau zoals je dat in het kleinere glas verwacht in vergelijking met het eerste glas. Licht je schets toe.



VLIEGTUIG

In een vliegtuig werken de systemen niet optimaal. Zo blijkt de druk van de lucht maar 800 mbar te zijn. De temperatuur daarentegen is te hoog opgelopen en is 30°C.
Bereken de massa lucht in het vliegtuig per kubieke meter.

TOESTEL VAN BOYLE

Een toestel van Boyle is een apparaat, waarin men het volume van een afgesloten hoeveelheid gas door het verplaatsen van een zuiger kan variëren bij constante temperatuur en tegelijk de druk kan meten.
Uitgangspunt is een situatie waarbij bij een volume van 0,50 dm^3 de druk 1,40 bar is.
Langzaam verandert men het volume tot de druk 0,70 bar geworden is.
Teken de *p,V*-grafiek van de afgesloten lucht voor het beschreven proces.

MINERAALWATER

Algemene gegevens: De temperatuur is 20 °C, de luchtdruk 995 hPa
In een glas koolzuurhoudend mineraalwater stijgen belletjes op. Terwijl zo'n belletje stijgt, heb je de indruk dat het groter wordt. Er zijn twee ideeën over.
De eerste is dat door het stijgen de vloeistofdruk afneemt en daarom het volume toeneemt, de tweede dat er meer gas uit het water in het belletje komt.
We veronderstellen een glas, waarin gewoon leidingwater 10 cm hoog staat. Een gasbelletje stijgt op van de bodem naar het oppervlak en heeft daar aangekomen een diameter van 1,0 mm.

A Bereken hoeveel mol gas dan in dat belletje zit.

In dat glas water laat een belletje van 0,96 mm^3 los van de bodem.

B Bereken het volume van dat belletje als het aankomt bij het wateroppervlak. Je veronderstelt daarbij dat de hoeveelheid gas onderweg naar boven niet verandert.

C Bereken het nieuwe volume van zo'n 0,96 mm^3-belletje als je er 25% gas aan toevoegt, maar zorgt dat druk en temperatuur niet veranderen.

MONTIGNAC

Het vlak waarmee mijn schoenen contact maken met de vloer bedraagt per schoen 30 cm^2.
Dank zij Montignac is mijn massa 60 kg. Tijdens een wedstrijd draag ik een kist boeken van 20 kg op mijn hoofd. Montignac was in 1998 een populaire afvalgoeroe.
Bereken de druk die ik op de vloer uitoefen zolang ik met beide benen op de grond sta.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{80 \cdot 9{,}81}{2 \cdot 30 \cdot 10^{-4}} = 1{,}65 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

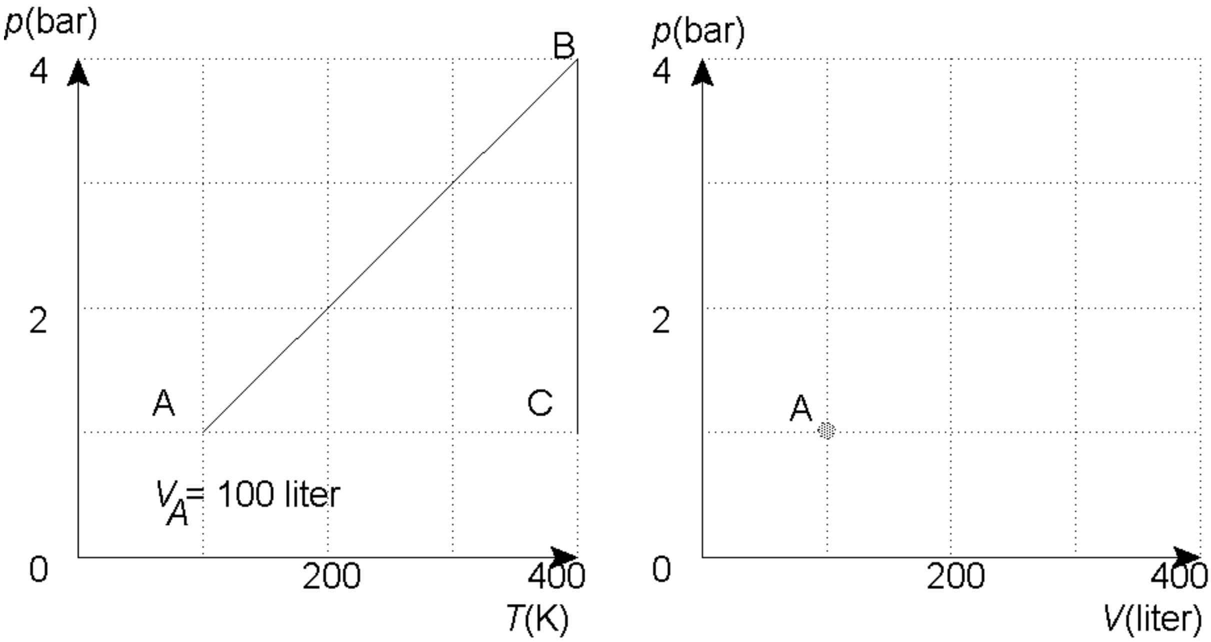
SILICONENOLIE

Bereken de druk die een 40 cm hoge kolom siliconenolie uitoefent op de ondergrond.

$$p = \rho h g = 0{,}76 \cdot 10^3 * 0{,}40 * 9{,}81 = 2{,}98 \cdot 10^3 \text{ Pa}.$$

KRINGPROCES

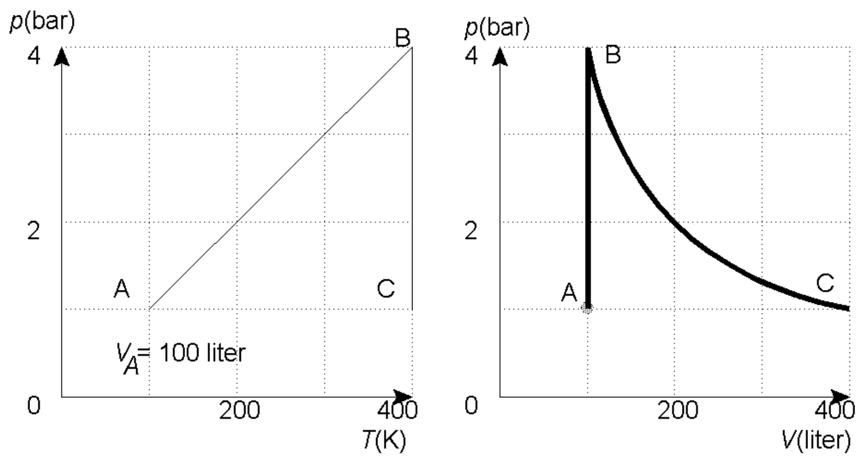
Deze opgave gaat over een afgesloten hoeveelheid gas. Daarvan wordt de druk en de temperatuur gevarieerd volgens bijgaande grafiek van situatie A, naar B en dan naar C. Het proces wordt beschreven door middel van bijgaande *p,T*-grafiek.
Aan jou de vraag om de bijbehorende *p,V*-grafiek hieronder te tekenen.



Uitwerking:

	p	V	T
A	1 bar	100 liter	100 K
B	4 bar	rechte lijn door O, dus $p \propto T$, dus ook V constant en dus 100 liter. '$\propto$' betekent: evenredig met	400 K
C	1 bar	$(pV)_B = (pV)_C \Rightarrow 4 \times 100 = 1 \times V_C \Rightarrow V_C = 400$ liter	400 K

Bedenk dat pV = constant een hyperbool oplevert en geen rechte!

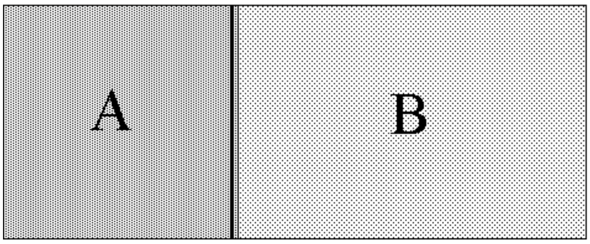


DUBBELVAT

In ruimte A zit Gronings aardgas. Gegeven is dat het volume 2 dm^3 is en de druk 1,00 bar. In ruimte B zit stikstofgas met als extra gegevens: een volume van 3 dm^3 en een druk van 2,00 bar.

In beide ruimtes is de temperatuur 70°C.

De twee ruimten zijn gescheiden door een scheidingswand. Zie de tekening.



A De scheidingwand wordt verwijderd en de temperatuur verandert niet.
Bereken de druk tegen de linkerwand van wat eens ruimte A was.

B Terug naar de oorspronkelijke situatie. De scheidingswand blijkt bij nadere beschouwing een zuiger te zijn. Deze zuiger kan wrijvingsloos in de horizontaal geplaatste getekende cilinder bewegen. De temperatuur verandert ook nu niet.
Bereken de volumes van A en B, als de zuiger wordt losgelaten..

A De temperatuur verandert niet. De som van het aantal mol verandert niet, dus:

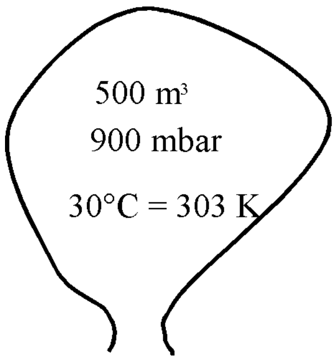
$$n_A + n_B = n_{A+B} \Rightarrow pV + pV = pV \Rightarrow 1{,}00*2 + 2{,}00*3 = p*5 \Rightarrow p = 1{,}6\,\text{bar}$$

B Het gemakkelijkst is het om je te realiseren dat ook in deze situatie de druk 1,6 bar moet worden. Pas dan de wet van Boyle toe op ruimte A: 1,00 × 2 = 1,6 × V_A
$\Rightarrow V_A = 1{,}25\ dm^3$.
De rest, dus 3,75 dm^3 is voor B.
Anders krijg je de wet van Boyle voor A en B afzonderlijk en de som van beide volumina is 5.
1,00 × 2 = p × V_A en 2,00 × 3 = p × V_B en $V_A + V_B = 5$. Dit zijn 3 vgln. met 3 onbekenden.
Veel plezier met rekenen.

HETE-LUCHTBALLON

Deze vraag gaat over een hete-luchtballon. We formuleren een paar veronderstellingen. Zo veronderstellen we dat het volume van de de ballon constant is en 500 m^3. Verder dat de ballon steeds gevuld is met lucht, waarvan de dichtheid 1,29 kg/m^3 is bij 273 K en bij $p = p_0$, en dat die lucht in de ballon overal dezelfde tempratuur heeft.
Ten slotte veronderstellen we dat de druk steeds gelijk blijft aan de buitenluchtdruk 900 mbar.
Bereken hoeveel kg lucht uit de ballon ontsnapt, als de temperatuur in de ballon stijgt van 30°C tot 50°C.

Uitwerking:
Hier zijn meer oplossingen mogelijk. Het belangrijkste is dat je een aanpak demonstreert en die uitwerkt. We laten er twee zien.



Methode 1: reken uit hoeveel kg er in het begin in zit en hoeveel er aan het eind in zit. Het verschil is ontsnapt.
We gebruiken $p_0 = 1{,}013 \cdot 10^5$ Pa en $\rho_0 = 1{,}29$ kg/m^3. Tevens $m = \rho \times V = \rho_0 \times V_0$

Eerst: $\dfrac{p_0 * V_0}{T_0} = \dfrac{pV}{T} \Rightarrow \dfrac{1013 * V_0}{273} = \dfrac{900 * 500}{303}$

dus V_0= 400 m^3 Later:

$$\frac{p_0 * V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} \Rightarrow \frac{1013 * V_0}{273} = \frac{900 * 500}{323} \Rightarrow V_0 = 375 \text{ m}^3$$

De ontsnapte lucht heeft een massa $m_{\text{eerst}} - m_{\text{later}} = 1{,}29 \times (400{,}24 - 375{,}46) = 32$ kg.

Methode 2: Reken uit hoeveel er in zit. Laat bij constante druk het volume toenemen. Bereken het percentage in het oude volume. Dat percentage is ook het percentage van de overgebleven massa.
Volgens de berekening bij methode 1 zit er aanvankelijk 1,29 × 400,24 = 516,31 kg in.
Nu:

$$\frac{V}{T} = const \Rightarrow \frac{500}{303} = \frac{V}{323} \Rightarrow V = 533 \text{ m}^3$$

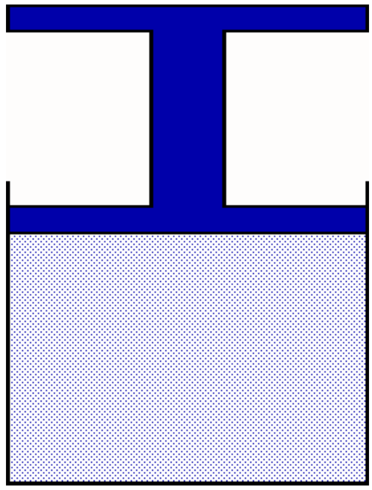
$$\frac{500}{533} * 100\% = 93{,}8\%$$

93,8% van 516,31 kg = 484,34 kg. Dat is 32 kg minder!

Om nog een derde methode aan te geven: Je kunt met de gegevens uitrekenen hoeveel mol er oorspronkelijk in de ballon zat. Ook hoeveel er uiteindelijk in zit. Ook dan kun je weer met percentages van de massa gaan rekenen.

CILINDER

In een cilinder zit een gas opgesloten met een temperatuur van 15°C, een volume van 400 cm^3 en een druk van $1{,}00 \cdot 10^5$ Pa. Zie doorsnede, zoals hiernaast getekend.
De oppervlakte van de cilinderdoorsnede is 35 cm².



a. Bereken hoeveel mol gas is opgesloten.
b. Bereken de kracht die de zuiger op het gas uitoefent.

In ons goed uitgeruste laboratorium voeren we het volgende experiment uit.
Vanuit de uitgangssituatie A, zoals die boven beschreven is, gaan we bij constante druk in de cilinder de temperatuur verlagen. Het eindvolume daarbij is 200 cm². Die toestand noemen we B. Vervolgens verwarmen we bij constant volume het gas totdat de temperatuur weer de oude waarde van 15 °C bereikt. Die toestand noemen we C.
Tenslotte herstellen we de oude toestand door bij constante temperatuur het volume te vergroten tot 400 cm^3.

c. Teken de ***p,V***-grafiek van het beschreven proces: A → B → C → A.

Uitwerking:

a 0,0167 mol

b Actie = - reactie. De kracht van de zuiger op het gas is even groot als de kracht van het gas op de zuiger:
F = p·A = $1{,}00 \cdot 10^5 * 35 \cdot 10^{-4} = 350$ N

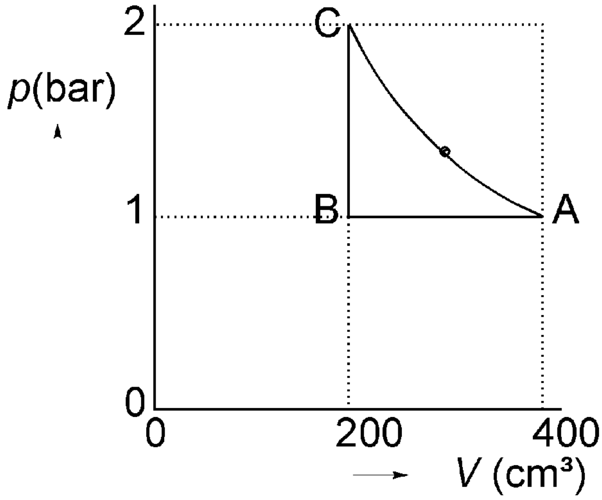
c. In onderstaand schema is telkens aangegeven wat bij de overgang constant blijft en welke verandering gegeven is. De waarde van de derde variabele kun je dan met eenvoudig met ***pV/T*** = constant uitrekenen.

A		B		C	
1,00	=	1,00		2,00	p(bar)
400	→	200	=	200	V (cm³)
288		144	→	288	T (K)

proces

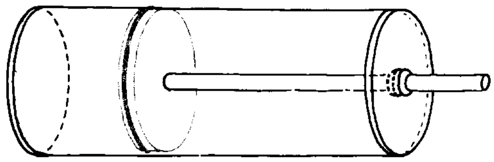
Het proces AB vindt plaats bij constante druk en moet in onderstaand assenstelsel dus een horizontale lijn opleveren.
Het proces BC hoort bij constant volume en dus een vertikale lijn.
Het proces CA is een isotherm proces, waarvoor ***pV*** = constant: ***hyperbool***.

De opdracht luidde: ***Teken***....
Dat betekent tamelijk nauwkeurig.
Minimaal stellen we als eis dat nog een punt wordt berekend, bv. bij 300 cm³.



CILINDER

Een cilinder is in twee stukken verdeeld door een dunne zuiger die op zijn plaats wordt gehouden. Links zit 15 dm^3 waterstof met een druk van 2,0 bar en rechts 10 dm^3 koolstofdioxide met een druk van 4,0 bar. De temperatuur van de cilinder is 300 K.



De zuiger wordt losgelaten en kan zich wrijvingsloos bewegen.
Beredeneer wat het volume van de waterstof wordt. Ondersteun de redenering met een berekening.

Uitwerking:
Er wordt naar een redenering gevraagd. Dat betekent dat we een collectie berekeningen hoe goed ook, niet voldoende vinden. Waarom reken je dat uit? En waarom is het resultaat het antwoord op onze vraag? Er zijn vele redeneringen mogelijk. We beperken ons.
Voorop moet duidelijk zijn dat door de hogere druk van de koolstofdioxide dat volume zal toenemen, maar zijn druk dus afneemt tot een waarde tussen de 2,0 en 4,0 bar. Het totaal volume blijft 25 dm^3.

I. Daar de temperatuur constant is geldt voor elk van de compartimenten de wet van Boyle. Noem de nieuwe druk $\boldsymbol{p}$ en het hieve volume van de waterstof $\boldsymbol{V}$.
Dan geldt voor de waterstof: $(\boldsymbol{pV})_{\text{eerst}} = (\boldsymbol{pV})_{\text{later}}$
$2{,}0 \cdot 15 = \boldsymbol{p \cdot V}$
Voor de koolstofdioxide geldt ook $(\boldsymbol{pV})_{\text{eerst}} = (\boldsymbol{pV})_{\text{later}}$ en dus
$4{,}0 \cdot 10 = \boldsymbol{p \cdot} (25-\boldsymbol{V})$
We hebben 2 vlgn. met 2 onbekenden.
Oplossing bv. door op elkaar te delen: $V = 10{,}7$ dm^3

II. Als de eindtoestand is bereikt, en links en rechts de druk hetzelfde is, dan maakt een gat in de wand niet meer uit voor de einddruk. Dan mag ik voor het berekenen van de einddruk ook wel meten een gaatje erin prikken en kijken wat de einddruk wordt in die ene grote ruimte:
$\boldsymbol{n}_{H2} + \boldsymbol{n}_{CO2} = \boldsymbol{n}_{\text{mengsel}} \Rightarrow \boldsymbol{pV} + \boldsymbol{pV} = \boldsymbol{pV}$
$2{,}0 \cdot 15 + 4{,}0 \cdot 10 = \boldsymbol{p} \cdot 25 \Rightarrow \boldsymbol{p} = 2{,}8$ bar.
Toegepast op alleen links:
$2{,}0 \cdot 15 = 2{,}8 \cdot \boldsymbol{V} \Rightarrow \boldsymbol{V} = 10{,}7$ dm^3.

III. Verdubbel eerst alleen rechter volume tot 20 dm^3, zodat de druk ook 2,0 bar wordt. Het totaal volume is dan 35 dm^3.
Laat de zuiger los en breng het volume terug tot 25 dm^3: $2{,}0 \cdot 35 = \boldsymbol{p} \cdot 25 \Rightarrow \boldsymbol{p} = 2{,}8$ bar.
Zie verder II.

Eiffeltoren

Aan de voet van de 300 m hoge Eiffeltoren is op een mooie dag de temperatuur 300 K. De barometer geeft $1{,}034 \cdot 10^5$ Pa aan.

a. Bereken de massa van 1,000 m^3 lucht aan de voet van de Eiffeltoren.

De genoemde druk kun je op twee manieren verklaren.

I De druk komt door de botsingen van de moleculen tegen de grond.

II De druk komt door de zwaartekracht van de lucht boven 1 m² Parijse vloer.

Dit laatste argument houdt in dat de druk moet afnemen als je omhoog gaat.

b. Maak op basis van dit laatste argument een schatting van de druk op 300 m hoogte; bij die schatting mag je ervan gebruik maken dat de temperatuur en de massa per kubieke meter niet veranderen als je omhoog gaat.

De temperatuur daalt echter en de massa per m^3 is niet constant.

c. Beredeneer of je een te hoge of juist te lage uitkomst hebt gevonden bij de schatting, of waarom je dat niet kunt weten.

Uitwerking:

$\boldsymbol{m = \rho \cdot V = \rho_0 \cdot V_0}$

a Deze laatste toevoeging is nodig, omdat van lucht de dichtheid alleen bekend is bij $\boldsymbol{p}_0$ = 1,013 bar en 273 K. Gaswet levert: V_0 = 0,92886 m³ en m = 1,201 kg

Merk op dat de gegevens in tenminste 3 significante cijfers versterkt zijn. Je mag dan 'onderweg' niet afronden op 3 cijfers en moet minstens één cijfer meer meenemen.

b. Iedere meter die je omhoog gaat, zegt argument II hoeft 1 m² weer 1,201 kg minder te dragen en daardoor neemt de druk af met de zwaartekracht ervan. Na 300 meter levert dit een vermindering met

$\boldsymbol{F_z = mg =}$ $300 \cdot 1{,}201 \cdot 9{,}81 = 3535$ N

en dus ✆$\boldsymbol{p}$ = - 3535 Pa.

$\boldsymbol{p}_{300\ m} = 1{,}034 \cdot 10^5 - 3535 = 0{,}999 \cdot 10^5$ Pa

Merk op dat schatten niet betekent 'een slag ernaar slaan', maar op basis van een veronderstelling een berekening maken. Anders gezegd: je moet je uitkomst onderbouwen.

c. Omdat je niet weet hoe de massa per m^3 verandert, als je stijgt, kun je op basis daarvan niet weten of je schatting te hoog of te laag zal uitvallen.
Dat is een juist antwoord. Het was echter niet de bedoeling. De bedoeling was dat je zou proberen te beredeneren wat de massa per m^3 doet: toenemen of afnemen.

Veronderstel dat de temperatuur niet verandert als je omhoog gaat.
Je weet dat de druk afneemt. Maar dan moeten er minder botsingen plaatsvinden. Dan moeten er minder moleculen in zitten. Dan moet iedere volgende m^3 lichter zijn dan de vorige. Ik heb er in onderdeel b dus te veel afgetrokken.
De druk zal boven hoger zijn. Mijn schatting was te laag.

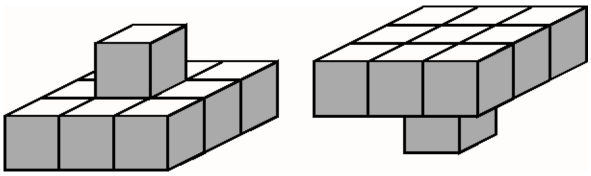
De temperatuur daalt als ik omhoog ga. De moleculen bewegen langzamer en laten andere moleculen binnenkomen. Het aantal mol per m^3 wordt groter. Iedere m^3 wordt zwaarder. Maar dan moet ik er meer van aftrekken als ik omhoog ga, dan ik gedaan heb. **Mijn schatting was te hoog. De druk zal lager zijn.**

Moraal van dit verhaal: Je kunt het niet weten.

Nieuw probleem: Als het erg vochtig is, wat dan? Het blijft een leuk vak.

DRUK

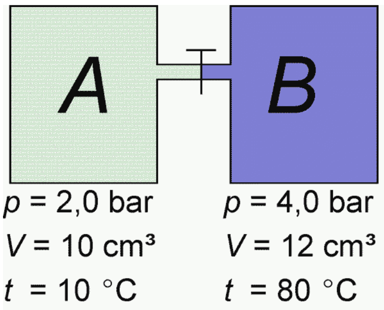
Van 10 aluminium kubusjes met ribbe 2,0 cm heeft men een voorwerp in elkaar gelijmd.
Je kunt het voorwerp neerzetten zoals in nevenstaande tekeningen is weergegeven.



Bereken de druk van het voorwerp op de ondergrond in de getekende positie waarin de druk het grootst is.

VERBONDEN VATEN

Twee vaten zijn van elkaar gescheiden door middel van een kraan in een nauwe opening. Links zit stikstofgas en rechts zuurstofgas. Zie de tekening voor overige gegevens.
De kraan wordt geopend, maar de temperaturen worden gehandhaafd. Na een tijdje stelt zich een evenwicht in.

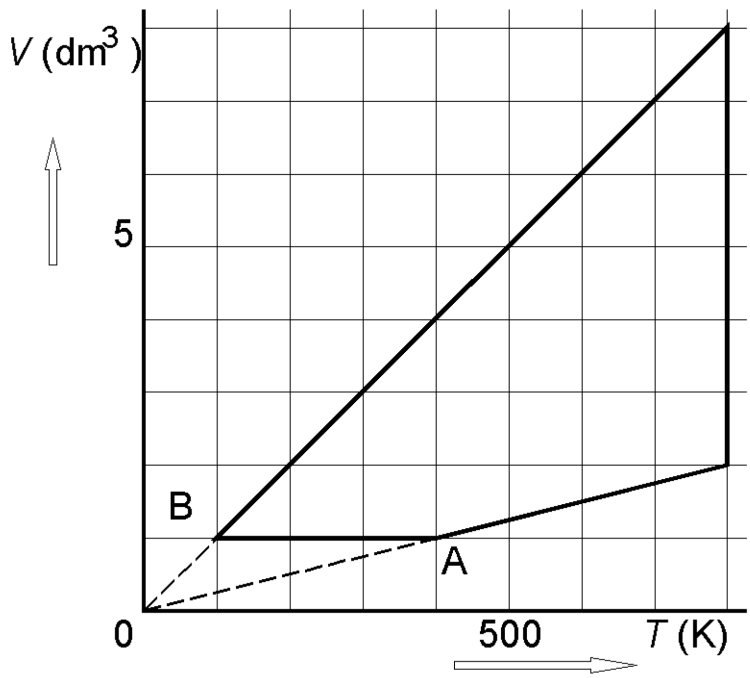


a. Leg uit in welke richting er gas stroomt na het openen van de kraan.
b. Bereken de druk in vat A na het instellen van het evenwicht.
c. Leid af hoe de massa-verhouding van de gassen in beide vaten zal zijn, zodra zich een evenwicht heeft ingesteld.

Pas op: Als je een berekening maakt moet je uitleggen ***waarom*** die berekening het gevraagde antwoord oplevert.

KRINGPROCES

Een afgesloten gas doorloopt het kringproces ABCDA conform de grafiek.
Van toestand A zijn de gegevens:
p = 8,0 bar; ***V*** = 1,0 dm^3 en ***T*** = 400 K



a. Bereken om hoeveel mol gas het gaat.
b. Bereken de massa van het gas, als het om lucht gaat.
c. Leid uit de gegeven grafiek de (***p,T***)- en de (***p,V***)-grafieken af. Kies bij beide assenstelsels als afmeting 8 cm bij 8 cm.
d. Maak een beredeneerde schatting van de gemiddelde afstand tussen de moleculen in toestand A.

Ballon

Een hete-lucht-ballon heeft in 'ontplooide' toestand een volume van 500 m^3. De lucht daarin staat in open verbinding met de omringende lucht.

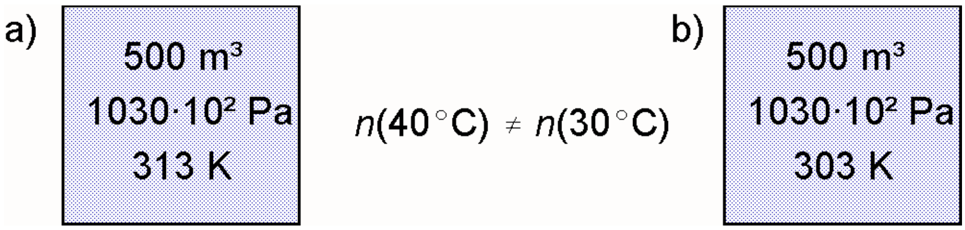
Hij wordt opgelaten, terwijl het weerstation een druk opgeeft van 1030 hPa.

a. Bereken de massa van de 500 m^3 lucht met een temperatuur van 40°C.

b. Bereken de massa van de binnenstromende lucht als de temperatuur daalt tot 30°C.

Uitwerking:

In BINAS staat de dichtheid onder 'normale' omstandigheden, waarbij ρ = 1,293 kg/m^3. In onderstaande berekening berekenen we van de aanwezige hoeveelheid lucht hoeveel ruimte die in zou nemen in die omstandigheden, voor elke situatie apart. $T_{normaal}$ = 273 K! Zie kop BINAS!



Je mag ***niet*** opschrijven $\left(\frac{pV}{T}\right)_{30} = \left(\frac{pV}{T}\right)_{40}$, omdat dat niet over eenzelfde hoeveelheid lucht gaat. Je krijgt dan ook de bevreemdende uitkomst dat er lucht uitgaat i.p.v. erin!

SAMENPERSEN

Om de druk in een vat 3,0 maal zo groot te maken moeten we het volume 20 cm^3 *kleiner* maken.

Bereken de het oorspronkelijke volume.

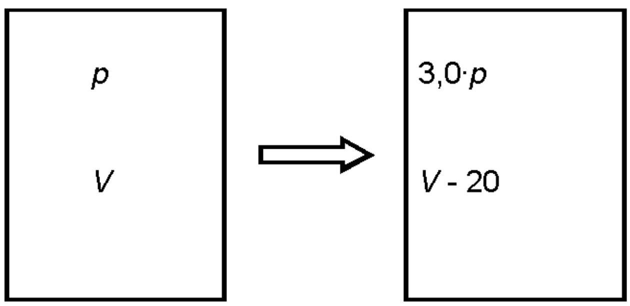
Uitwerking:

De temperatuur is constant.

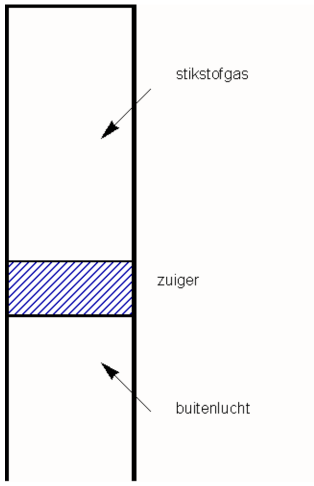
Dus geldt pV = constant $\Rightarrow$

$pV = 3p \cdot (V - 20) \Rightarrow$

V = 30 cm^3.



CILINDER MET GAS



In een cilindervormig vat bevindt zich 224 cm^3 stikstofgas bij een temperatuur van 20°C.
De cilinder, die met de opening naar beneden staat zoals in tekening 5, wordt afgesloten door een wrijvingsloze zuiger van 168 g met een oppervlakte van 11,0 cm^2.
De druk van het stikstofgas is $1{,}020 \cdot 10^5$ Pa.

a. Bereken de buitenluchtdruk.
b. Bereken hoeveel mol stikstofgas in het vat zit.

We gaan van onder tegen de zuiger duwen.

c. Bereken bij welke kracht het volume gehalveerd blijkt.

We laten weer los, maar gaan de temperatuur verhogen tot 67°C.

d. Bereken het volume dat het gas dan inneemt.

Uitwerking:

a Op de zuiger werkt de kracht van de buitenluchtdruk omhoog, maar de zwaartekracht en het stikstofgas naar beneden. De som van de krachten moet nul zijn en dus $b = p_{stikstof} + p_{zuiger} = 1{,}020 \cdot 10^5 + (0{,}168 \cdot 9{,}81)/(11{,}0 \cdot 10^{-4}) = 1{,}020 \cdot 10^5 + 1{,}498 \cdot 10^3 = 1{,}035 \cdot 10^5$ Pa.
Het mag een cijfer meer of minder zijn. In dat laatste geval wordt het $1{,}03 \cdot 10^5$ Pa.

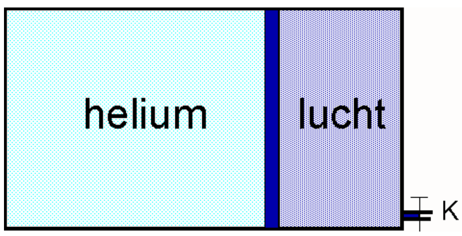
b $$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1{,}020 \cdot 10^5 \times 224 \cdot 10^{-6}}{8{,}3145 \times 293} = 0{,}00938 \text{ mol}$$

c Halveren van het volume betekent verdubbelen van de druk, dus 2,040 bar.
$b + p_{extra} = p_{stikstof} + p_{zuiger}$
$1{,}035 \cdot 10^5 + F/(11{,}0 \cdot 10^{-4}) = 2{,}040 \cdot 10^5 + 1{,}498 \cdot 10^3 \Rightarrow$
$F = 112$ N.

d We laten los. Dus de druk wordt weer de 'oude' druk: 1,020 bar en blijft constant. De algemene gaswet wordt dan:
$$\frac{V}{T} = \text{constant} \Rightarrow \frac{224}{273+20} = \frac{V}{273+67} \Rightarrow V = 260 \text{ cm}^3$$

HELIUM-LUCHT

De temperatuur van alle gassen in deze opgave is en blijft 15 ☜C. In de uitgangssituatie zit helium in een ruimte met een volume van 800 m^3. In die situatie is de druk van de helium 1,0 bar. De cilinder wordt dan aan een zijde afgesloten door een vrij beweegbare zuiger die zich geheel rechts bevindt. We pompen aan de andere kant van de zuiger een hoeveelheid lucht, zodat het volume van de helium afneemt van 800 m^3 naar 500 m^3. Zie tekening.

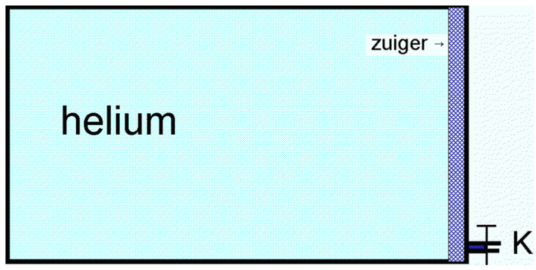


Bereken de massa van de erbij gepompte lucht.

Luchtschepen

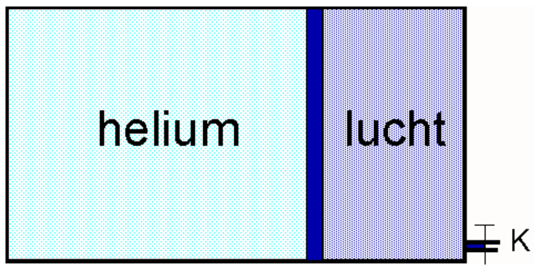
Inleiding
Er wordt weer gewerkt aan luchtschepen van het type 'Zeppelin'. Er zitten veel technische kanten aan het ontwerp, maar ook economische, natuurkundige en scheikundige. Zo gebruikt men als gas geen waterstof, maar het onbrandbare helium. Dit helium waarvan men 7000 liter bij een bepaald type nodig heeft, kost € 5,-- per liter. Het zou jammer zijn dat bij het landen te laten ontsnappen. Het is dus opgesloten in een goed dichte ballon. Hieromheen zit een tweede ballon, waarin men lucht kan persen als ballast, zoals men bij een onderzeeër water binnen laat. In de opgave bekijken we de natuurkundige kant.

Opgave
In de uitgangssituatie zit de helium in een cilindervormige ballon met een volume van 800 m^3. In die situatie is de druk van de helium 1,0 bar. De temperatuur is 15 °C. Hiernaast is zo'n ballon schematisch weergegeven.



a. Bereken de diameter van zo'n cilinder. Veronderstel daarbij gemakshalve dat deze cilinder cirkelvormig is en een lengte heeft van 5,0 m.
b. Bereken de massa van de in zo'n ballon opgesloten hoeveelheid helium.

De omhullende ballon heeft een constant volume van 800 m^3 en bevat aanvankelijk een verwaarloosbare hoeveelheid lucht. Er wordt via een klep K lucht in de omhullende ballon geperst, totdat de opgesloten heliumballon nog slechts een volume van 500 m^3 inneemt. Die toestand is schematisch weergegeven in nevenstaande tekening; stel je voor dat de zuiger wrijvingsloos kan bewegen.



c. Bereken de massa van de erin gepompte hoeveelheid lucht. De temperatuur daarvan is eveneens 15 °C.

De ballon komt in een warmere omgeving, waardoor helium én lucht in temperatuur stijgen.
d. Beredeneer de invloed daarvan op de volumeverhouding helium-lucht.

De Zeppelin bevat 8 compartimenten van 800 m^3. Het overige volume is verwaarloosbaar.
e. Bereken de opwaartse kracht indien de omringende lucht een temperatuur van 0 °C heeft.

PVT-GRAFIEKEN

Uitgangspunt bij deze opgave is een vat heliumgas, molaire massa 4,00 g, in toestand A die te omschrijven is met p = 1,00 bar; V = 1,00 dm^3 en T = 300 K. Zie antwoordvel.
Deze hoeveelheid wordt eerst bij constante druk in temperatuur verlaagt tot T = 150 K.
De toestand heet B. Dan gaan we naar toestand C door bij constant volume de temperatuur weer op de oude waarde te brengen. En tenslotte gaan we bij constante temperatuur van C naar A terug.

a. Teken van het proces ABCA de (p,T)-grafiek op de bijlage.
b. Teken van het proces ABCA de (p,V)-grafiek op de bijlage.
c. Bereken om hoeveel mol helium het gaat.
d. Bereken de dichtheid van het helium in toestand A.

VERTICALE CILINDER

Een verticale cilinder bevat een afgesloten hoeveelheid lucht. Aan de bovenzijde is de cilinder afgesloten door een zuiger van 24 g. De zuiger heeft een doorsnede van 0,73 cm^2.
De zuiger kan wrijvingsloos bewegen. De buitenluchtdruk is 1013 mbar.
Bereken de druk van de afgesloten lucht.

AUTOBAND

De druk in een autoband bij 20 °C is $2{,}0 \cdot 10^5$ Pa. Door het rijden stijgt de temperatuur van de band tot 77 °C, waarbij het binnenvolume met 5 % toeneemt.
Bereken de druk in de band in deze toestand.

BOL MET VENTIEL

Een bol bevat 500 m^3 gasmengsel, ρ_0 = 1,20 $kg \cdot m^{-3}$, met p = 1,70 bar en t = 16 °C.

a. Bereken de massa van het gas in de bol.

De bol is afgesloten door een ventiel dat bij een overdruk van 0,80 bar ten opzichte van de buitenlucht gas laat ontsnappen en bij een overdruk van minder dan 0,80 bar gesloten blijft.

b. Bereken hoeveel gas ontsnapt als de temperatuur in de bol stijgt tot 50 °C. De buitenluchtdruk is 1,01 bar. De afmetingen van de bol kun je hierbij als ongewijzigd beschouwen.

Hierna daalt de temperatuur weer tot de oorspronkelijke waarde.

c. Teken de grafiek van de druk in de bol als functie van de temperatuur voor het beschreven proces.

MANOMETER

In een vat heerst een onderdruk van 250 Pa t.o.v. de buitenlucht, waar de druk $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa is.
Deze onderdruk wordt gemeten met een vloeistofmanometer. De gebruikte vloeistof heeft een dichtheid van $0{,}80 \cdot 10^3$ kg/m^3.
Bereken het hoogteverschil van de vloeistofniveaus in de manometer en geef aan aan welke kant het vloeistofniveau het hoogst staat, de kant van het vat of van de buitenlucht.

Uitwerking:
De vloeistof geeft door het hoogteverschil de onderdruk aan. Omdat de buitenlucht een grotere druk heeft, zal deze de vloeistof richting vat duwen. Bij het vat staat de vloeistof dus hoger.
Bij het opstellen van dit werk had ik een bacteriologisch laboratorium waar men anthrax-onderzoek doet, in gedachte i.p.v. een vat. Daarin zorgt men voor onderdruk om te voorkomen dat door lekkage bacteriën naar buiten kunnen ontsnappen. Is er ergens een lek, dan is de wind daar naar binnen gericht.

$$\Delta p = \rho \cdot h \cdot g \Rightarrow 250 = 0{,}80 \cdot 10^3 \times h \times 9{,}81 \Rightarrow h = 0{,}032 \text{ m}$$

GLOEILAMP

Een gloeilamp is met gas gevuld. De inhoud is 100 cm^3. De temperatuur van een lamp die uit is, is 20°C. Veronderstel dat druk van het gas dan 500 mbar is en voornamelijk uit argon bestaat.
Bereken de massa van de gasvulling.

Als de lamp aangaat, stijgt de temperatuur. Veronderstel dat de gemiddelde temperatuur in het gas 400°C wordt.
Schets de grafiek van de druk als functie van de temperatuur tijdens het opwarmen van de lamp. Mocht je daarbij nog randvoorwaarden willen stellen, dan moet je die vermelden.

a $pV = nRT \Rightarrow (5{,}00 \cdot 10^4) \times (100 \cdot 10^{-6}) = n \times 8{,}315 \times 293 \Rightarrow n = 2{,}05 \cdot 10^{-3}$ mol.
De molaire massa van argon is 39,95. De argon-massa is dus $39{,}95 \times 2{,}05 \cdot 10^{-3} = 0{,}082$ g

b We veronderstellen dat tijdens het opwarmen van de lamp het volume niet significant toeneemt. Dan blijft over dat *p* en *T* evenredig zijn.

$$\left(\frac{p}{T}\right)_{20} = \left(\frac{p}{T}\right)_{400} \Rightarrow \frac{500}{293} = \frac{p}{673} \Rightarrow p = 1146 \text{ mbar}$$

BALLON

De helium in een ballon heeft een volume van $1{,}00 \cdot 10^3$ m^3, een temperatuur van 20☜C en een druk van 1040 mbar.

1. Bereken de massa en de dichtheid van de helium in die ballon.

De volgende vraag wordt als te moeilijk ervaren bij mijn leerlingen.
De ballon wordt losgekoppeld, gaat de lucht in en wint dus aan zwaarte-energie en kinetische energie. We vergelijken de energie van de ballon op de grond met die op 50 m hoogte.
Je kunt er van uit gaan dat de eigenschappen volume, temperatuur en druk op 50 m hoogte nog niet significant veranderd zijn.

2. Leg uit hoe het met de wet van behoud van energie zit bij het vergelijken van deze twee posities. Hierbij moeten de ter zake doende energievormen worden genoemd en welke kracht arbeid verricht. Vergeet niet te vermelden waar die kracht op werkt.

MANOMETER

In een vat heerst een onderdruk van 250 Pa t.o.v. de buitenlucht, waar de druk $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa is.
Deze onderdruk wordt gemeten met een vloeistofmanometer. De gebruikte vloeistof heeft een dichtheid van $0{,}80 \cdot 10^3$ kg/m^3.

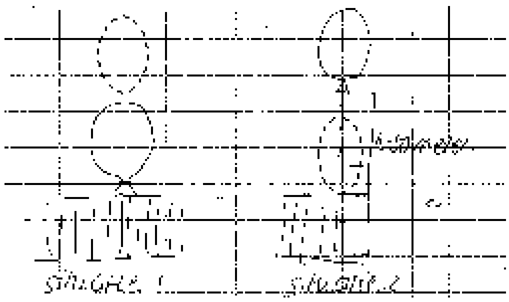
3. Bereken het hoogteverschil van de vloeistofniveaus in de manometer en geef aan aan welke kant het vloeistofniveau het hoogst staat, de kant van het vat of van de buitenlucht.

uitwerking:

1 $$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1{,}040\cdot 10^5 \times 1{,}00\cdot 10^3}{8{,}3145\times 293} = 42690\ \text{mol}$$.

De molaire massa van helium is 4,003 g.
De massa in de ballon is 42690 × 0,004003 = 171 kg

De dichtheid $$\rho = \frac{m}{V} = \frac{170{,}9}{1{,}00\cdot 10^3} = 0{,}171\ \text{kg}/\text{m}^3$$.



2 De bedoeling van de vraag is dat je vanwege de toenemende kinetische én zwaarte-energie afvraagt, waar die energie dan wel vandaan komt. Vanwege de keuze van heliumballon, speelt de chemische energie geen rol. Dat zou bij een waterstofballon, waarbij de waterstof verbrand werd nog gekund hebben. Maar dan zouden *p, V* en *T* niet gelijk gebleven zijn.
Ik bespreek twee opties, die samenhangen met een andere keuze van 'het systeem'.

Keuze 1.
Neem de ballon als systeem. Maak een tekening met ballon en erop werkende krachten.
$F_{omhoog} > F_z$!
Hierop werken de zwaartekracht en de opwaartse kracht volgens *de wet van Archimedes*. De ballon gaat omhoog, omdat de opwaartse kracht groter is dan de zwaartekracht. In de vorige opgave heb je al berekend dat de dichtheid van de helium veel kleiner is dan de zwaartekracht. De nettokracht verricht de arbeid. Warmte-ontwikkeling t.g.v. wrijving verwaarlozen we. De regel luidt dan: $\Sigma W = \Delta E_{kin.}$
Het is geen 'gesloten systeem' en de wet van behoud van energie geldt dus niet.

Keuze 2. Maak een tekening en realiseer je dat waar de ballon zit, geen lucht kan zitten. Vergelijke je begin en eind, dan gaat de ballon omhoog, maar een luchtbel, de stippellijn, naar beneden. Denk aan een lift en zijn contragewicht. Als je neemt *de ballon, de luchtbel en de aarde ,* dan heb je een gesloten systeem. Omdat je de aarde erbij neemt, kun je het hebben over zwaarte-energie i.p.v. over 'arbeid door de zwaartekracht'. Er geldt
$(E_{z,\,bel} + E_{z,ballon} + E_{k,bel} + E_{k,ballon})_{begin} = (E_{z,\,bel} + E_{z,ballon} + E_{k,bel} + E_{k,ballon})_{eind}$
De energie in wervelingen van de lucht worden buiten beschouwing gelaten. Bij het begin stellen we de termen met kinetische energie erin gelijk aan nul.
De zwaartekracht op de 'luchtbel' die naar beneden gaat, verricht meer positieve arbeid dan de zwaartekracht op de ballon aan negatieve arbeid verricht. Dat is de 'energiepomp'.
In de eenvoudigste vorm: $(E_{z,\,bel})_{start} = (E_{z,\,ballon} + E_{kin,\,ballon})_{eind}$.
Het verschil in zwaarte-energieën = arbeid door de zwaartekracht = kinetische energie ballon
Pas op: sommigen willen aan energie een richting toekennen. Dat is niet juist. Energie is een scalar, geen vector.

3 De vloeistof geeft door het hoogteverschil de onderdruk aan. Omdat de buitenlucht een grotere druk heeft, zal deze de vloeistof richting vat duwen. Bij het vat staat de vloeistof dus hoger.
Bij het opstellen van dit werk had ik een bacteriologisch laboratorium waar men anthrax-onderzoek doet, in gedachte i.p.v. een vat. Daarin zorgt men voor onderdruk om te voorkomen dat door lekkage bacteriën naar buiten kunnen ontsnappen. Is er ergens een lek, dan is de wind daar naar binnen gericht.

$$\Delta p = \rho\cdot h\cdot g \Rightarrow 250 = 0{,}80\cdot 10^3 \times h \times 9{,}81 \Rightarrow h = 0{,}032\ \text{m}$$.

GLOEILAMP

Een gloeilamp is met gas gevuld. De inhoud is 100 cm^3. De temperatuur van een lamp die uit is, is 20 °C. Veronderstel dat druk van het gas dan 500 mbar is en voornamelijk uit argon bestaat.
Bereken de massa van de gasvulling.

Als de lamp aangaat, stijgt de temperatuur. Veronderstel dat de gemiddelde temperatuur in het gas 400 °C wordt.
Schets de grafiek van de druk als functie van de temperatuur tijdens het opwarmen van de lamp. Mocht je daarbij nog randvoorwaarden willen stellen, dan moet je die vermelden.

$pV = nRT \Rightarrow (5{,}00 \cdot 10^4) \times (100 \cdot 10^{-6}) = n \times 8{,}315 \times 293 \Rightarrow n = 2{,}05 \cdot 10^{-3}$ mol.
De molaire massa van argon is 39,95. De argon-massa is dus $39{,}95 \times 2{,}05 \cdot 10^{-3} = 0{,}082$ g

We veronderstellen dat tijdens het opwarmen van de lamp het volume niet significant toeneemt. Dan blijft over dat *p* en *T* evenredig zijn.

$$\left(\frac{p}{T}\right)_{20} = \left(\frac{p}{T}\right)_{400} \Rightarrow \frac{500}{293} = \frac{p}{673} \Rightarrow p = 1146 \text{ mbar}$$

.

--