

9. Ideaalikaasun tilanyhtälö

Harjoittele

Tehtävä 9.1.

Väittämistä ovat oikein a), c) ja e).

Korjaukset vääriin väittämiin:

b) Kaasujen yleinen tilanyhtälö yhdistää kaasulait ja kuvaa kaasuja yhtä tarkasti kuin erikoistilanteiden eli isotermisen, isokoorisen ja isotermisen muutoksen tilanyhtälöt.

d) Yksi mooli tarkoittaa $6,02214076 \cdot 10^{23}$ kaasumolekyyliä.

Tehtävä 9.2.

Kaasujen yleisen tilanyhtälön avulla voidaan mallintaa suljetun kaasusysteemin paineen, tilavuuden ja lämpötilan välisiä riippuvuuksia. Ideaalikaasun tilanyhtälön avulla voidaan edellisten lisäksi tarkastella tilanteita, joissa ainemäärä muuttuu.

Tehtävä 9.3.

- a) On määritelty, että NTP-olosuhteissa lämpötila on 20 °C eli $293,15\text{ K}$ ja paine on $101\,325\text{ Pa}$.
- b) Avogadron lain mukaan kaikilla kaasuilla on sama määrä kaasumolekyylejä samassa tilavuudessa, jos paine ja lämpötila ovat samat.

Tehtävä 9.4.

a) Kun lämpötila on vakio, kaasujen yleinen tilanyhtälö voidaan

$$\text{kirjoittaa muodossa } \frac{p_1 V_1}{T} = \frac{p_2 V_2}{T}.$$

Kerrotaan yhtälö puolittain lämpötilalla T , jolloin saadaan yhtälö muotoon $p_1 V_1 = p_2 V_2$, eli $pV = \text{vakio}$.

b) Kun tilavuus on vakio, kaasujen yleinen tilanyhtälö

$$\text{voidaan kirjoittaa muodossa } \frac{p_1 V}{T_1} = \frac{p_2 V}{T_2}.$$

Jaetaan yhtälö puolittain tilavuudella V , jolloin saadaan

$$\text{yhtälö muotoon } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ eli } \frac{p}{T} = \text{vakio}.$$

c) Kun paine on vakio, kaasujen yleinen tilanyhtälö

$$\text{voidaan kirjoittaa muodossa } \frac{p V_1}{T_1} = \frac{p V_2}{T_2}.$$

Jaetaan yhtälö puolittain paineella p , jolloin saadaan yhtälö muotoon

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ eli } \frac{V}{T} = \text{vakio}.$$

Tehtävä 9.5.

Kaasusäiliössä tapahtuu tilanmuutosprosessi, jossa lämpötila, paine ja tilavuus muuttuvat. Lasketaan uusi lämpötila kaasujen yleisen tilanyhtälön avulla.



Kaasujen yleinen tilanyhtälö on $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

Ratkaistaan yhtälöstä kaasun loppulämpötila T_2 .

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad || \cdot T_1 T_2$$

$$p_1 V_1 T_2 = p_2 V_2 T_1 \quad || : (p_1 V_1)$$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 V_1}$$

$$T_2 = \frac{130 \text{ kPa} \cdot 3,1 \text{ l} \cdot 295,15 \text{ K}}{101,325 \text{ kPa} \cdot 3,0 \text{ l}} = 391,300 \text{ K} = 118,15 \text{ °C} \approx 120 \text{ °C}.$$

Kaasun lämpötila on lopuksi 120 °C.

Tehtävä 9.6.

a) Ilman tilavuus $V = 4\,250\text{ m}^3 = 4\,250\,000\text{ dm}^3$

Kun lämpötila on 20 °C ja ilmanpaine $101\,325\text{ Pa}$, on kyseessä NTP-olosuhteet. Tällöin voidaan hyödyntää ideaalikaasun moolitilavuutta NTP-olosuhteissa

$$V_m = 24,055 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}$$

Pallon sisällä olevan ilman ainemäärä on

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{4\,250\,000\text{ dm}^3}{24,055 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}} = 176\,678\text{ mol} \approx 177 \cdot 10^3\text{ mol}.$$

b) Ilman lämpötila $T = 100\text{ °C} = 373,15\text{ K}$

Ilman paine $p = 101\,325\text{ Pa}$

Ilman tilavuus $V = 4\,250\text{ m}^3$

Moolinen kaasuvakio $R = 8,314463 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

Käytetään ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$, joten

$$\begin{aligned}n &= \frac{pV}{RT} \\ &= \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 4250 \text{ m}^3}{8,314 \text{ 463} \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 373,15 \text{ K}} \\ &= 138798 \text{ mol} \approx 139 \cdot 10^3 \text{ mol}.\end{aligned}$$

Tehtävä 9.7.

Kaasujen yleinen tilanyhtälö on $\frac{pV}{T} = \text{vakio}$.

Tilanyhtälön mukaan kaasun paine ja tilavuus ovat kääntäen verrannollisia, ja paine ja lämpötila ovat suoraan verrannollisia. Kun kaasun tilavuus kaksinkertaistuu, paine puolittuu. Kun lämpötila kaksinkertaistuu, painekin kaksinkertaistuu. Nämä muutokset kumoavat toisensa, joten paine pysyy samana.

Sama voidaan osoittaa yhtälön avulla $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$,

josta

$$p_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 V_2} = \frac{p_1 V_1 2T_1}{T_1 2V_1} = \frac{p_1 \cancel{V_1} \cancel{2} \cancel{T_1}}{\cancel{T_1} \cancel{2} \cancel{V_1}} = p_1.$$

Sovella

Tehtävä 9.8.

- a) Kaasun lämpötila $T = 20\text{ °C} = 293,15\text{ K}$
Kaasun paine pullossa $p = 170\text{ bar} = 17\text{ MPa} = 17 \cdot 10^6\text{ Pa}$
Kaasun tilavuus $V = 20,0\text{ dm}^3 = 0,020\text{ m}^3$

$$\text{Moolinen kaasuvakio } R = 8,314463 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Käytetään ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$, joten

$$\begin{aligned} n &= \frac{pV}{RT} \\ &= \frac{17 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 0,020 \text{ m}^3}{8,314\,463 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293,15 \text{ K}} \\ &= 139,4938 \text{ mol.} \end{aligned}$$

Helium kaasu esiintyy yksiatomisena. Yhdessä moolissa on Avogadron luvun verran rakenneosia eli He-atomeja. Silloin 139,4938 moolissa on atomeja

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$N = nN_A = 139,4938 \text{ mol} \cdot 6,02214076 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$
$$= 8,40051 \cdot 10^{25} \approx 8,4 \cdot 10^{25}$$

Heliumatomeja on kaasupullossa $8,4 \cdot 10^{25}$ kappaletta.

- b) Heliumin ainemääräksi saatiin $n = 139,4938$ mol.
Heliumin moolimassa $M(\text{He}) = 4,003$ g/mol.

Ainemäärä on massan ja moolimassan suhde $n = \frac{m}{M}$,

joten

$$m = nM = 139,4938 \text{ mol} \cdot 4,003 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 558,3936814 \text{ g} \approx 560 \text{ g}$$

Säiliössä on 560 grammaa heliumia.


- c) Tyhjän kaasupullon massa on tyypillisesti useita kiloja ja heliumkaasun massa satojen grammojen luokkaa. Tämän vuoksi jäljellä olevan heliumin määrää on vaikea arvioida pulloa nostelemalla. Vaa'an avulla jäljellä olevan kaasun määrän voi kuitenkin määrittää.

Tehtävä 9.9.

Oletetaan, että kaasu käyttäytyy kuten ideaalikaasu. Alkutilanteessa kaasukupla on järven pohjalla syvyydellä $h = 45$ m, jossa sitä puristaa ilmanpaineen p_0 lisäksi hydrostaattinen paine p_h . Kaasun paine on pohjalla

$$\begin{aligned} p_1 &= p_0 + p_h = p_0 + \rho gh \\ &= 99\,700 \text{ Pa} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 45 \text{ m} \\ &= 541\,150 \text{ Pa.} \end{aligned}$$

Lopputilanteessa kaasukupla on pinnalla, jossa paine on sama kuin ilmanpaine.

alkutilanne V_1 $p_1 = 541\,150 \text{ Pa}$ $T_1 = (4,0 + 273,15) \text{ K} = 277,15 \text{ K}$		lopputilanne V_2 $p_2 = 99,7 \text{ kPa} = 99\,700 \text{ Pa}$ $T_2 = (21,0 + 273,15) \text{ K} = 294,15 \text{ K}$
--	---	--

Kaasujen yleinen tilanyhtälö $\frac{pV}{T} = \text{vakio}$ eli $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$,

josta

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} = \frac{541\,150 \text{ Pa} \cdot 294,15 \text{ K}}{99\,700 \text{ Pa} \cdot 277,15 \text{ K}} = 5,7607 \approx 5,8.$$

eli kaasukuplan tilavuus kasvaa 5,8-kertaiseksi.

Tehtävä 9.10.

Oletetaan, että ilma käyttäytyy kuten ideaalikaasu.

Ilman tiheys saadaan massan ja tilavuuden suhteesta

$\rho = \frac{m}{V}$. Tutkitaan tiettyä määrää ilmaa, jonka massa pysyy

koko ajan samana. Ajatellaan alkutilanteeksi olosuhteet normaalissa ilmanpaineessa ja lopputilanteessa 6 000 metrin korkeudessa.

alkutilanne	tilanmuutos	lopputilanne
$\rho_1 = 1,293 \text{ kg/m}^3$		ρ_2
m		m
V_1		V_2
$p_1 = 101\,325 \text{ Pa}$		$p_2 = 47 \text{ kPa} = 47\,000 \text{ Pa}$
$T_1 = (20 + 273,15) \text{ K} = 293,15 \text{ K}$		$T_2 = (-24 + 273,15) \text{ K} = 249,15 \text{ K}$

Tiheyksien suhteeksi saadaan $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\cancel{m}}{\cancel{m}} \frac{1}{\frac{V_1}{V_2}} = \frac{V_2}{V_1}$,

josta $\rho_2 = \frac{V_1}{V_2} \rho_1$.

Tiheys on kääntäen verrannollinen tilavuuteen ja tilavuuksien suhteesta voidaan päätellä tiheyksien suhde.

Kaasujen yleinen tilanyhtälö $\frac{pV}{T} = \text{vakio}$ eli $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$,

josta $\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}$.

Yhdistetään yhtälöt. Tiheys on

$$\begin{aligned}\rho_2 &= \frac{V_1}{V_2} \rho_1 \\ &= \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} \rho_1 \\ &= \frac{47000 \text{ Pa} \cdot 293,15 \text{ K}}{101325 \text{ Pa} \cdot 249,15 \text{ K}} \cdot 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 0,70568 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 0,71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.\end{aligned}$$

6 000 metrin korkeudessa ilman tiheys on $0,71 \text{ kg/m}^3$.

Tehtävä 9.11.

a) Hiilidioksidin massa $m = 425 \text{ g}$

CO₂ moolimassa saadaan taulukkokirjan jaksollisen järjestelmän avulla:

$$M = M_{\text{C}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 12,01 \text{ g/mol} + 2 \cdot 16,00 \text{ g/mol} \\ = 44,01 \text{ g/mol}$$

Ainemäärä on

$$n = \frac{m}{M} = \frac{425 \text{ g}}{44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 9,656896 \text{ mol} \approx 9,66 \text{ mol.}$$

Täydessä pullossa on 9,66 moolia CO₂-kaasua.

b) Hiilidioksidin massa $m = 425 \text{ g}$ ja

moolimassa $M = 44,01 \text{ g/mol}$

tilavuus $V = 880 \text{ cm}^3 = 880 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

lämpötila $T = (24 + 273,15) \text{ K} = 297,15 \text{ K}$

moolinen kaasuvakio $R = 8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

Ideaalikaasun tilanyhtälön mukaan $pV = nRT$, josta

$$\begin{aligned} p &= \frac{nRT}{V} = \frac{mRT}{MV} \\ &= \frac{425 \text{ g} \cdot 8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 297,15 \text{ K}}{44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 880 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} \\ &= 27112204,3 \text{ Pa} \approx 27 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tehtävä 9.12.

- a) Kun teepussin päälle kaadettiin kuumaa vettä, teepussi laajeni ja nousi pintaan.
- b) Teepussissa oleva ilma lämpeni, jolloin ilman paine kasvoi. Paineen kasvu laajensi teepussissa olevan ilman tilavuutta.

Tehtävä 9.13.

- a) Rutistunut muovipullo oikenee. Hetken kuluttua pullo puristuu jälleen kasaan.
- b) Kun pulloa ravistetaan, pullon sisällä oleva ilma lämpenee kuumasta vedestä ja ilman paine kasvaa. Tämän seurauksena pullon tilavuus kasvaa ja pullo oikenee. Kun pullon sisällä oleva ilma jäähtyy, laskee myös sen paine, minkä seurauksena pullo rutistuu jälleen kasaan.

Tehtävä 9.14.

Moolimassa $M = 3\,906\,488 \text{ g/mol}$

Avogadron vakio ilmoittaa yhdessä moolissa olevien molekyylien määrän. $N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$.

Koska yhden molekyylin ainemäärä $n = \frac{1}{N_A}$ ja

ainemäärä on $n = \frac{m}{M}$, niin

$$m = nM$$

$$= \frac{M}{N_A}$$

$$= \frac{3906488 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{6,02214076 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}}$$

$$= 6,486875939 \cdot 10^{-18} \text{ g}$$

$$\approx 6,486876 \cdot 10^{-18} \text{ g}$$

Proteiinimolekyylin massa on $6,486\,876 \cdot 10^{-18}$ grammaa.

Tehtävä 9.15.

a) NTP-olosuhteissa ilman

$$\text{lämpötila } T = (273,15 + 20) \text{ K} = 293,15 \text{ K}$$

$$\text{paine } p = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$\text{ilman tilavuus } V = 1,00 \text{ cm}^3 = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{ilman moolimassa } M_i = 29,0 \text{ g/mol} = 29,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$\text{moolinen kaasuvakio } R = 8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Ideaalikaasun tilanyhtälön mukaan $pV = nRT$,

josta ainemäärä n on

$$n = \frac{pV}{RT}.$$

Yhdessä moolissa ilmaa on Avogadron vakion, $N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$, ilmoittama määrä molekyylejä, joten kokonaisuudessaan kuutiosenttimetrissä on molekyylejä

$$\begin{aligned}
N &= nN_A = \frac{pV}{RT} N_A \\
&= \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293,15 \text{ K}} \cdot 6,02214076 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \\
&= 2,50348 \cdot 10^{19} \approx 2,50 \cdot 10^{19}.
\end{aligned}$$

NTP-olosuhteissa kuutiosenttimetrissä on $2,50 \cdot 10^{19}$ ilman molekyyliä (pääasiassa typpi- ja happimolekyylejä).

- b) Lasketaan kuten a-kohdassa, mutta nyt paine $p = 4,20 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$.

$$\begin{aligned}
N &= nN_A = \frac{pV}{RT} N_A \\
&= \frac{4,20 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314510 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293,15 \text{ K}} \cdot 6,02214076 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \\
&= 1,03771 \cdot 10^{10} \approx 1,04 \cdot 10^{10}.
\end{aligned}$$

Tyhjiöastian olosuhteissa kuutiosenttimetrissä on $1,04 \cdot 10^{10}$ ilman molekyyliä.

Tehtävä 9.16.

Ideaalikaasun tilanyhtälö

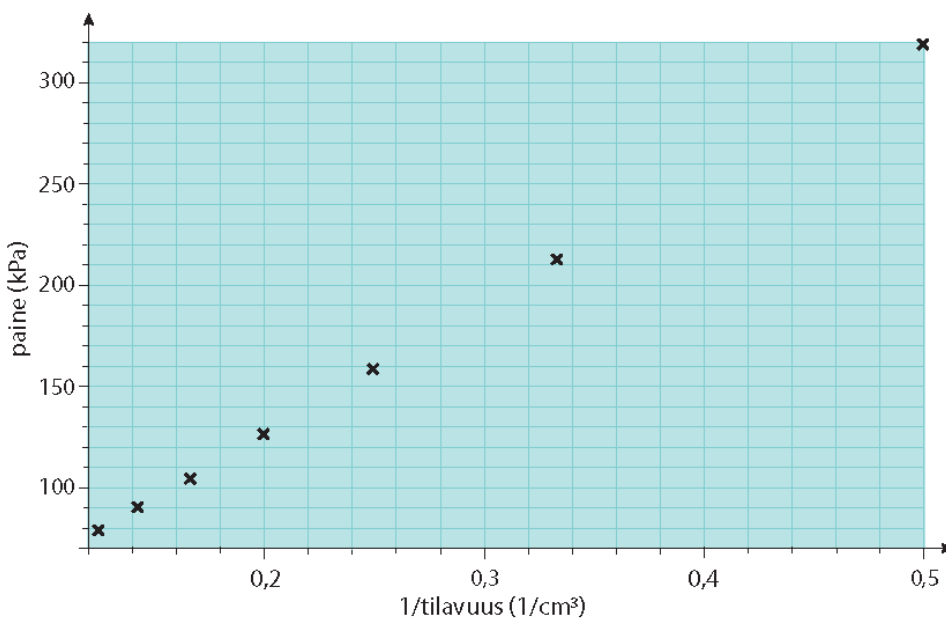
$$pV = nRT$$

Esitetään yhtälö muodossa

$$pV = nRT \quad || : V$$

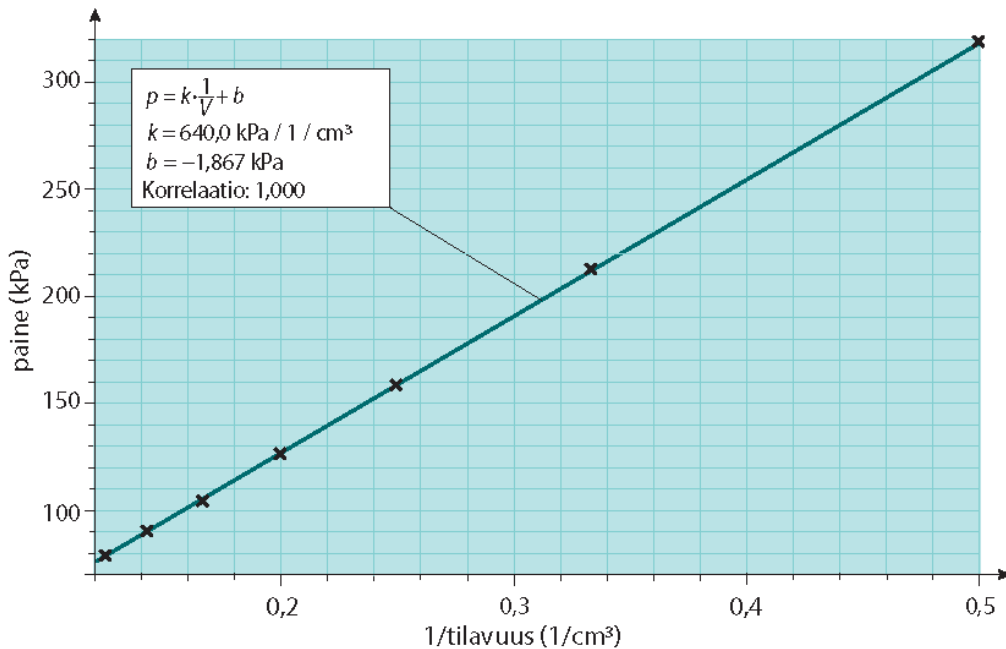
$$p = nRT \frac{1}{V}$$

Yhtälöstä voidaan päätellä, että paineen kuvaaja on suora $(1/V, p)$ -koordinaatistossa. Esitetään mittaustulokset $(1/V, p)$ -koordinaatistossa, eli paine tilavuuden käänteisluvun funktiona.



Suoran yhtälö on $p = nRT \frac{1}{V}$, ja suoran fysikaalinen kulmakerroin $k = nRT$.

Kulmakertoimen arvoksi saadaan $k = 640,0 \frac{\text{kPa}}{1/\text{cm}^3}$.



Lasketaan kulmakertoimen avulla moolisen kaasuvakion arvo.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{k}{nT} = \frac{640,0 \frac{\text{kPa}}{1/\text{cm}^3}}{0,26 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 293,15 \text{ K}} \\
 &= 8396,856 \frac{\text{kPa cm}^3}{\text{mol K}} \approx 8,4 \frac{\text{Pa m}^3}{\text{mol K}}
 \end{aligned}$$

Tehtävä 9.17.

a) Pullon tilavuus $V = 1,5 \text{ l} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

typen massa $m = 23 \text{ g} = 0,023 \text{ kg}$

moolimassa taulukkokirjan jaksollisen järjestelmän avulla $M = 2 \cdot M_{\text{N}} = 2 \cdot 14,01 \text{ g/mol}$

$$= 28,02 \text{ g/mol} = 28,02 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

lämpötila $T = (273,15 + 19) \text{ K} = 292,15 \text{ K}$

Ideaalikaasun tilanyhtälön mukaan $pV = nRT$, missä n on pulloon jäävän typen ainemäärä ja

$R = 8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ on moolinen kaasuvakio.

Ainemäärä voidaan selvittää massan ja moolimassan avulla

$$n = \frac{m}{M}$$

Yhdistämällä edelliset yhtälöt, saadaan

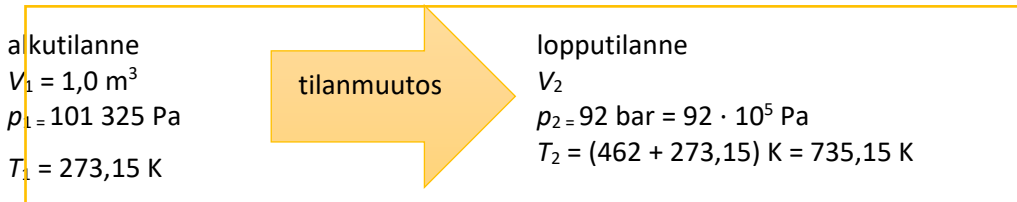
$$\begin{aligned}
 p &= \frac{nRT}{V} = \frac{mRT}{MV} \\
 &= \frac{0,023 \text{ kg} \cdot 8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 292,15 \text{ K}}{28,02 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \\
 &= 1329255,7 \text{ Pa} \approx 1,3 \text{ MPa}.
 \end{aligned}$$

Paine pullossa kasvaa 1,3 MPa.

- b) Skotlantilainen James Dewar kehitti termosastian eli ympäristöstään mahdollisimman hyvin eristetyn astian. Dewar-astioiksi kutsutaan termosastioita, joissa säilytetään nestemäisiä kaasuja. Koska nestekaasut ovat kiehumispisteensä lämpötilassa, ne höyrystyvät jonkin verran koko ajan, ja pullon korkin on oltava tuulettuva. Tiiviisti suljetussa astiassa paine kasvaisi vaarallisen korkeaksi.

Tehtävä 9.18.

Oletetaan, että pallossa oleva ilma käyttäytyy kuten ideaalikaasu. Alkutilanteessa on Maan olosuhteet ja lopputilanteessa Venuksen olosuhteet.



Kaasujen yleinen tilanyhtälö $\frac{pV}{T} = \text{vakio}$ eli $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$,

$$V_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1}$$

josta
$$= \frac{101\,325 \text{ Pa} \cdot 1,0 \text{ m}^3 \cdot 735,15 \text{ K}}{92 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 273,15 \text{ K}}$$
$$= 0,02964 \text{ m}^3 \approx 0,030 \text{ m}^3$$

Kaasupallo rutistuisi $0,030 \text{ m}^3$ kokoiseksi.

Tehtävä 9.19.

a) Kaasun paine $p = 650 \text{ Pa}$

lämpötila $T = (-50 + 273,15) \text{ K} = 223,15 \text{ K}$

tilavuus $V = 1,0 \text{ m}^3$

moolinen kaasuvakio $R = 8,314510 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

Ideaalikaasun tilanyhtälöstä $pV = nRT$ saadaan

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{650 \text{ Pa} \cdot 1,0 \text{ m}^3}{8,314463 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 223,15 \text{ K}} = 0,350334 \text{ mol} \approx 0,35 \text{ mol.}$$

Yhdessä kuutiometrissä on 0,35 moolia hiilidioksidia.

b) Hiilidioksidin CO_2 moolimassa saadaan taulukkokirjan jaksollisen järjestelmän avulla:

$$M = M_{\text{C}} + 2 \cdot M_{\text{O}} = 12,01 \text{ g/mol} + 2 \cdot 16,00 \text{ g/mol} \\ = 44,01 \text{ g/mol.}$$

Tilavuus on $V = 1,0 \text{ m}^3$.

Tiheys on $\rho = \frac{m}{V}$ ja massa $m = nM$.

Nämä yhdistämällä saadaan

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V} \\ = \frac{0,350334 \text{ mol} \cdot 44,01 \text{ g/mol}}{1,0 \text{ m}^3} \\ = 15,418199 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \approx 15,4 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Marsin olosuhteissa $-50 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa hiilidioksidikaasun tiheys on $15,4 \text{ g/m}^3$.

c) Maan ilmakehän tiheys $\rho_{\text{Maa}} = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1300 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$.

Verrataan tiheyksiä

$$\frac{\rho_{\text{Maa}}}{\rho} = \frac{1300 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{15,418199 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} = 84,316 \approx 84.$$

Maan ilmakehän tiheys on 84-kertainen verrattuna Marsin kaasukehän tiheyteen.

Tehtävä 9.20.

- a) Kaasumolekyylien nopeus kasvaa, kun lämpötila nousee.
- b) Kun kaasumolekyylien määrä kasvaa, myös törmäysten määrä lisääntyy. Kaasumolekyylien törmäykset säiliön seiniin aiheuttavat paineen. Kaasumolekyylien törmäykset toisiinsa eivät suoraan vaikuta tilanmuuttujiin, mutta lisäävät kaasumolekyylien törmäyksiä säiliön seiniin.

