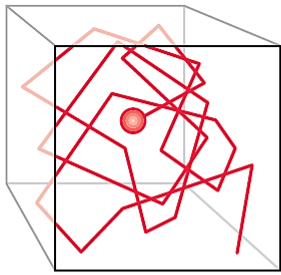
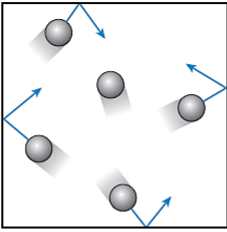
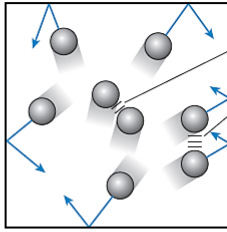


Kaasujen määrää mitataan tilavuudella KEMIALLINEN REAKTIO, KE4

Kaasu on yksi aineen olomuodosta. Kaasujen käyttäytymistä kokeellisesti tutkimalla on päädytty yksinkertaiseen malliin, ns. *ideaalikaasuun*.

Määritelmä: Ideaalikaasu on yksinkertainen malli, joka *kuvaa* reaalikaasua.

	<p>Ideaalikaasu</p> 	<p>Reaalikaasu</p>  <p>rakenneosien väliset vuorovaikutukset (hylkivät ja vetävät heikot voimat)</p>
<p>Ideaalikaasun rakenneosan liike on suoraviivaista ja satunnaista. Liikkeen suunta muuttuu rakenneosan törmätessä astian seinämiin ja toisiin rakenneosiin.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • korkea lämpötila • pieni paine • rakenneosat pistemäisiä • rakenneosat kaukana toisistaan • ei vuorovaikutusta • törmäykset nopeita ja kimmoisia. 	<ul style="list-style-type: none"> • matala lämpötila • korkea paine • rakenneosalla koko • rakenneosien välillä vuorovaikutus

Esimerkkejä



Popcorn valmistuu, kun maissinjyvän sisällä olevan veden höyrynpaine kasvaa niin suureksi, että jyvän kuori rikkoutuu.



Laitesukelluksessa käytettävässä kaasussa voidaan käyttää hapen ja typen seosta. Syvemmälle sukeltaessa käytetään seoksia, joissa typpi on korvattu osittain tai kokonaan heliumilla.



Sääpallo nousee muutaman kymmenen kilometrin korkeuteen tehden mittauksia koko matkan. Lopulta yläilmakehän alhaisen paineen takia tilavuus kasvaa niin suureksi, että sääpallo hajoaa.



Grillauksessa käytettävät komposiittipullot ovat kevyitä verrattuna metallisiin säilytyspulloihin. Läpinäkyvyyden takia nestekaasun määrä on helppo tarkistaa.

Kaasujen säilytysastioissa on korkea paine. Erityisesti nestekaasu-pulloissa osa kaasusta on nesteytynyt korkean paineen takia.

Mitä asioita tulee huomioida kaasupullon turallisessa kuljetuksessa ja säilytyksessä?

- pullo on suljettu kunnolla
- säilytetään pystyasennossa, ettei sisältöä poistu vahingossakaan nesteenä
- pullo on hyvin tuettu
- ei säilytetä lähellä lämmönlähteitä
- hyvä ilmanvaihto

Kerrataan lyhyesti muutama fysiikan käsite ja kaasulait (4.- ja 2.-kurssit).

Määritelmiä:

Kimmoisa törmäys: Liikemäärä $p = mv$ ja liike-energia $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$ säilyvät.

Kimmoton törmäys: Liikemäärä p säilyy, mutta liike-energia E_{kin} ei säily.

Täysin kimmoton törmäys: Kappaleet takertuvat toisiinsa. Liikemäärä p säilyy, mutta liike-energia E_{kin} ei säily.

Kaasulait → Fysiikan opintojaksot:

Boylein laki: Vakiolämpötilassa kaasun paine ja tilavuus ovat kääntäen verrannolliset, eli pV =vakio. Puhutaan **isotermisestä** tilanmuutoksesta.

Charlesin laki: Vakiotilavuudessa kaasun paine on suoraan verrannollinen sen absoluuttiseen lämpötilaan (Kelvin-asteet), eli $\frac{p}{T}$ =vakio. Puhutaan **isokoorisesta** tilanmuutoksesta.

Gay-Lussacin laki: Vakioaineessa kaasusysteemin tilavuus on suoraan verrannollinen sen absoluuttiseen lämpötilaan (Kelvin-asteet), eli $\frac{V}{T}$ =vakio. Puhutaan **isobaarisesta** tilanmuutoksesta.

Aineen olomuodoista juuri kaasu on helpommin tutkittavissa fysikaalisin ja kemiallisin keinoin. Palautetaan mieleen tärkeät suureet, paine, tilavuus ja lämpötila.

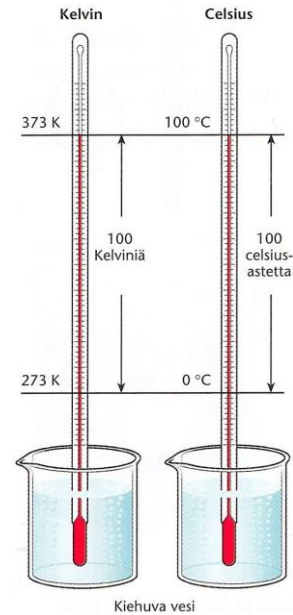
- 1. Kaasun paine, p** Aiheutuu molekyylien törmäyksistä "astian" seinämiin. Paine on voima jaettuna pinta-alalla, siis $p = \frac{F}{A}$. Yksikköjä ovat Pascal Pa, bar ja atm. Normaali ilmanpaine on 101,325 kPa.
- 2. Kaasun tilavuus, V** Kaasu täyttää aina koko "astian", eli käytettävän tilan ja kaasun tilavuus on sama kuin astian tilavuus.
- 3. Kaasun lämpötila, T** Kaikissa kaasulaskuissa käytetään absoluuttista lämpötila-asteikkoa, eli yksikkönä on Kelvin, K.

Kaasulaskuissa käteviä yksikkömuunnoksia:

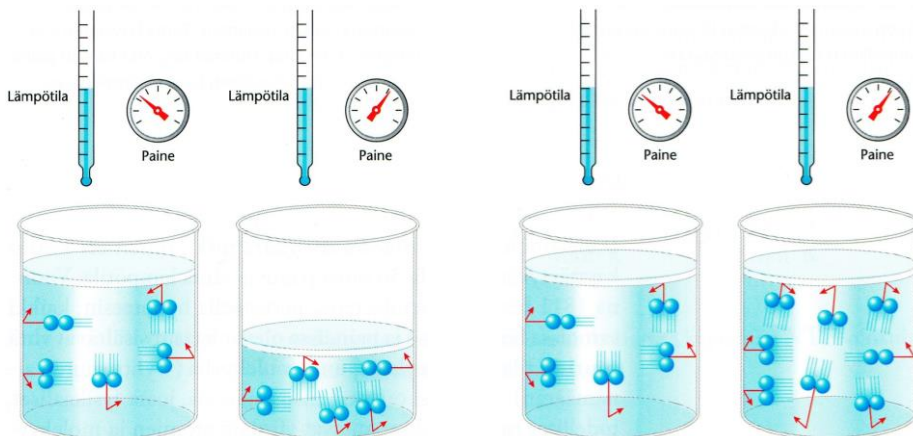
$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(K) - 273,15$$



Tarkastellaan näiden suureiden vaikutuksia kaasuun lyhyesti kuvien avulla. Tarkempi tarkastelu ja kuvaajien piirto p, V -koordinaatistoon fysiikan kursseilla!

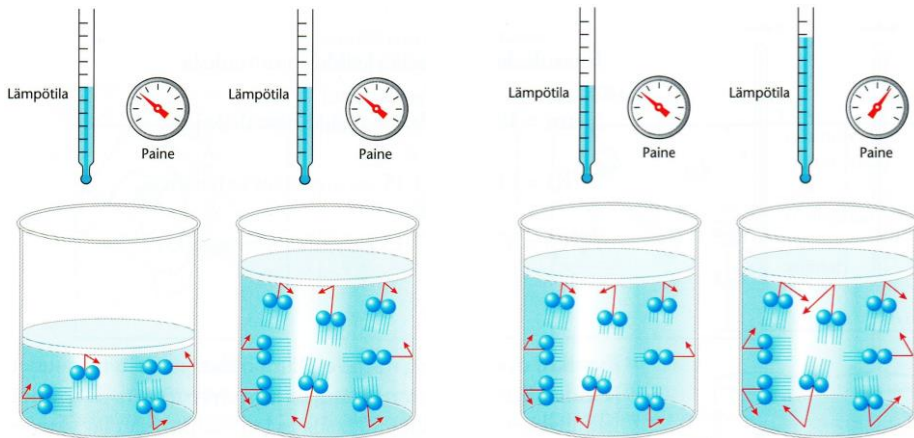


Sama ainemäärä n , T =vakio. Kun V pienenee, niin paine eli törmäykset seinämiin kasvaa. Havaitaan

Boyle $V \propto \frac{1}{p}$

V, T =vakio. Jos toisessa on suurempi p , on oltava suurempi ainemäärä n . (enemmän törmäyksiä). Siis havaitaan

$$p \propto n$$



Sama paine ja lämpötila eli $p, T = \text{vakio}$.
Jos toisen astian V suurempi, on siellä
oltava myös suurempi n . Siis havai-
taan verrannollisuus

$$V \propto n$$

$V, n = \text{vakio}$. Jos toisessa on suurempi
 T , sen rakenneosilla enemmän energiaa
eli liikkuvat nopeammin \rightarrow enem-
män törmäyksiä aikayksikköä kohden
 \rightarrow suurempi p . Siis havaitaan

Charles

$$p \propto T$$

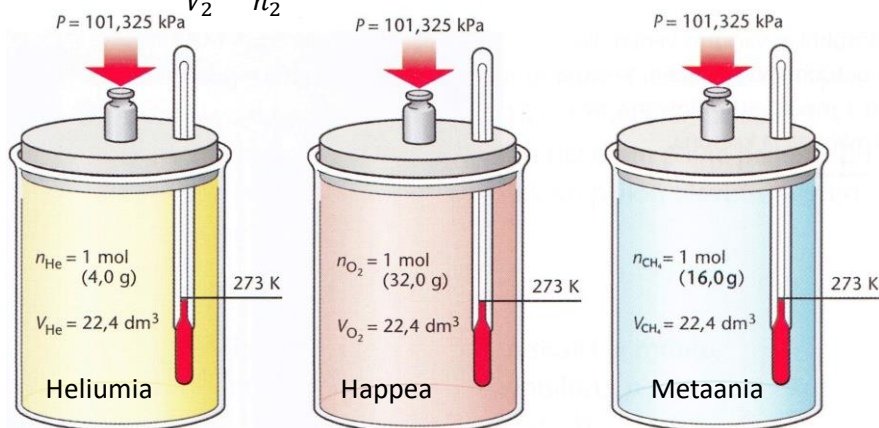
Italialainen fyysikko *Amadeo Avogadro* tutki, miten eri kaasut käyttäytyvät, kun niillä on sama paine ja lämpötila. Hän esitti vuonna 1811 koetulostensa perusteella hypoteesinsa, tunnetaan nykyisin Avogadron lakina.

Avogadron laki:

Kaikki samoissa lämpötiloissa ja paineissa olevat kaasut sisältävät yhtä suurissa tilavuuksissa yhtä monta molekyyliä (=yhtä suuren ainemäärän). Siis

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

kun p ja T pysyvät vakiona.



Yhdistämällä eri kaasulait saadaan ns. **kaasujen yleinen tilanyhtälö** (erittäin käyttökelpoinen → pitää osata!)

$$pV = nRT,$$

missä R on verrannollisuuskerroin, kutsutaan *mooliseksi kaasuvakioksi*. Huomaa, että R riippuu mitä paineen yksikköä käyttää. Nämä löytyvät MAOL:sta.

$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 0,083145 \frac{\text{bar} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Huom! Tl:ssä moolisen kaasuvakion R saa komennolla `_Rc`.

Muista $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$.

Kaasulaskuissa ja tarkasteluissa käytetään hyvin usein **NTP-olosuhteita eli normaalitilaa** (Normal pressure and temperature), jolloin normaalilämpötila on $T_0 = 293,15 \text{ K}$ ja normaalipaine $p_0 = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$, lyhenne atm tulee sanasta *atmosphere*=ilmakehä, joka on yhtä suuri kuin keskimääräinen ilmanpaine merenpinnan tasolla Pariisin leveysasteella, sopimus v. 1954.

Näissä olosuhteissa yhden kaasumoolin tilavuus eli kaasun moolitilavuus V_m on vakio

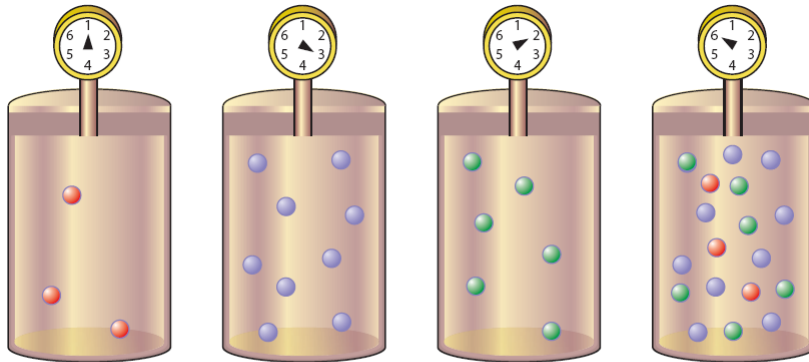
$$V_m = \frac{V}{n} = 22,41 \frac{\text{l}}{\text{mol}}, \quad V = V_m \cdot n$$

Laske tämä itsenäisesti kotona! Tehtävä 5-13.

Karta tätä ilmausta: $n = \frac{V}{V_m}$.

Tämä yhtälö pätee vain yhdessä paineessa ja lämpötilassa (NTP).

Kaasuseoksen kokonaispaine on osapaineiden summa, Daltonin laki.



$$p_1 + p_2 + p_3 = p_{\text{kok}}$$

$$1 + 3 + 2 = 6$$

Reaktio	Vapautuva kaasu ja sen ominaisuuksia	Esimerkkireaktioita
Epäjalojen metallien reaktiot happojen kanssa	H ₂ väritön ja hajuton, ilmaa kevyempi	$\text{Mg(s)} + 2 \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{MgCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$ $\text{Zn(s)} + 2 \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{ZnCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$
Alkali- ja maa-alkalimetallien reaktiot veden kanssa	H ₂ väritön ja hajuton, ilmaa kevyempi	$2 \text{K(s)} + 2 \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow 2 \text{KOH(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$ $\text{Ca(s)} + 2 \text{H}_2\text{O(aq)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$
Karbonaattien ja vetykarbonaattien reaktiot happojen kanssa	CO ₂ väritön ja hajuton, ilmaa raskaampi	$\text{CaCO}_3\text{(s)} + 2 \text{HNO}_3\text{(aq)} \rightarrow \text{Ca(NO}_3)_2\text{(aq)} + \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$ $\text{NaHCO}_3\text{(s)} + \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{NaCl(aq)} + \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$
Karbonaattien ja vetykarbonaattien hajoaminen kuumentettaessa	CO ₂ väritön ja hajuton, ilmaa raskaampi	$\text{CaCO}_3\text{(s)} \xrightarrow{\Delta} \text{CaO(aq)} + \text{CO}_2\text{(g)}$ $2 \text{NaHCO}_3\text{(s)} \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{O(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$
Vetyperoksidin hajoaminen	O ₂ väritön ja hajuton, ilmaa raskaampi	$2 \text{H}_2\text{O}_2\text{(aq)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)} + \text{O}_2\text{(g)}$
Ammoniumioneja sisältävien yhdisteiden reaktiot emäksen kanssa	NH ₃ väritön, pistävän hajuisen, ilmaa kevyempi	$\text{NH}_4\text{Cl(s)} + \text{NaOH(aq)} \xrightarrow{\Delta} \text{NaCl(aq)} + \text{NH}_3\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$
Hypokloriitti-ioneja sisältävien yhdisteiden reaktiot happojen kanssa	Cl ₂ vaalean vihreä, pistävän hajuisen, ilmaa raskaampi	$\text{NaClO(aq)} + 2 \text{HCl(aq)} \rightarrow \text{NaCl(aq)} + \text{Cl}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$

Esimerkki 1:

Lämpötilan vaikutus veden olomuotoon ja tilavuuteen.
Kuvassa on 1 mooli vettä kiinteänä, nesteinä ja kaasuna.

Voit kokeilla miten paine vaikuttaa veden kiehumiseen → Ota ruisku ja laita hieman vettä.
Vedä mäntä ulospäin ja saat alipaineen. Miksi vesi alkaa kuplia eli kiehua?



Vettä 0,0180 dm ³	Jäätä 0,0196 dm ³	Kaasua 30,6 dm ³
1 mol H ₂ O(l)	1 mol H ₂ O(s)	1 mol H ₂ O(g)
t = 0 °C	t = 0 °C	t = 100 °C
p = 101,325 kPa	p = 101,325 kPa	p = 101,325 kPa

Esimerkki 2:

3,45 kuutiometrin kokoiseen typpisäiliöön imettiin vakuumpumpulla tyhjiö. Säiliön loppupaineeksi mitattiin $6,67 \cdot 10^{-7}$ Pa ja lämpötilaksi 22°C . Laske säiliöön jääneen typpikaasun ainemäärä.

Ratkaisu:

Kaasujen yleisestä tilanyhtälöstä $pV = nRT$ ratkaistaan ainemäärä n . Saadaan

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{6,67 \cdot 10^{-7} \text{ Pa} \cdot 3,45 \text{ m}^3}{8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (273,15 + 22)\text{K}} = 9,3770 \dots \cdot 10^{-10} \text{ mol}$$

Esimerkki 3 (kaasun moolimassa):

62,6 mg erästä kaasumaista hiilivetyä on suljettu $34,9 \text{ cm}^3$:n suuruiseen astiaan. Hiilivedyn paine on 102,9 kPa ja lämpötila on 100°C .

- Laske hiilivedyn moolimassa
- Polttoanalyysin perusteella hiilivedyssä on 88,82 m-% hiiltä ja 11,18 m-% vetyä. Mikä on yhdisteen molekyylikaava?
- Yhdisteen reaktio bromin Br_2 kanssa osoitti, että siinä on kaksi kaksoisidosta. Piirrä hiilivedyn viivakaava.

Ratkaisu:

- Kaasujen yleinen tilanyhtälö $pV = nRT$ ja ainemäärän määritelmän $n = \frac{m}{M}$ avulla voidaan laskea kaasun moolimassa M :

$$pV = nRT \Leftrightarrow pV = \frac{m}{M}RT \Leftrightarrow M = \frac{mRT}{pV}$$

$$M = \frac{0,0626 \text{ g} \cdot 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (273,15 + 22)\text{K}}{102,9 \text{ kPa} \cdot 0,000\ 0349 \text{ m}^3} = 54,06 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

- Yhdisteen empiirinen kaava $(\text{C}_2\text{H}_3)_x$: hiilen massa, $m(\text{C}) = 0,8882 \cdot 62,6 \text{ mg} = 55,60132 \text{ mg}$ ja vastaavasti vedyn massa, $m(\text{H}) = 0,1118 \cdot 62,6 \text{ mg} = 6,99868 \text{ mg}$. Näin ollen ainemääräksi saadaan, $n(\text{C}) = \frac{0,05560132 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 4,6 \dots \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ ja $n(\text{H}) = \frac{0,00699868 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 6,9 \dots \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

Siis, hiilen ja vedyn suhteiksi saadaan $\frac{n(\text{C})}{n(\text{H})} = \frac{4,6 \dots \cdot 10^{-3}}{6,9 \dots \cdot 10^{-3}} = 0,667 \dots \approx \frac{2}{3}$.

Koska yhden C_2H_3 yksikön moolimassa on $2 \cdot 12,01 + 3 \cdot 1,008 = 27,044$, niin kerroin x :ksi tulee $54,06 \div 27,044 = 1,9989 \dots \approx 2$.

Molekyylikaavaksi tulee $(\text{C}_2\text{H}_3)_2 = \text{C}_4\text{H}_6$.

- Kyseinen hiilivety on 1,3-butadieni.

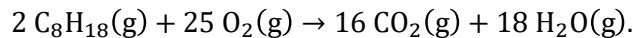


Esimerkki 4:

Pekka ajoi Ferrarillaan koulusta kotiin. Matkalla kului 7,5 litraa bensiiniä (tiheys 0,71 kg/l). Oletetaan, että bensiini on oktaanin ja iso-oktaanin seosta, molekyylikaava C_8H_{18} , ja se palaa täydellisesti. Laske matkan aikana muodostuneen hiilidioksidin ja vesihöyryn yhteistilavuus, kun palamiskaasujen lämpötila on 450 °C ja paine on 202 kPa.

Ratkaisu: Suureet ja arvot: $p = 202 \text{ kPa} = 2,02 \text{ bar}$, $R = 0,083145 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$,
 $T = (450 + 273,15) \text{ K} = 723,15 \text{ K}$, $V(C_8H_{18}) = 7,5 \text{ l}$, $\rho(C_8H_{18}) = 0,71 \text{ kg/l}$
ja $M(C_8H_{18}) = 114,224 \text{ g/mol}$.

Bensiinin täydellistä palamista kuvaava tasapainotettu reaktioyhtälö on



Kuluneen bensiinin massa saadaan tiheyden ja tilavuuden kautta $\rho = \frac{m}{V}$, eli

$$m(C_8H_{18}) = \rho(C_8H_{18}) \cdot V(C_8H_{18}) = 0,71 \text{ kg/l} \cdot 7,5 \text{ l} = 5325 \text{ g},$$

joten ainemääräksi tulee

$$n(C_8H_{18}) = \frac{m(C_8H_{18})}{M(C_8H_{18})} = \frac{5325 \text{ g}}{114,224 \text{ g/mol}} = 46,62 \text{ mol}.$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\frac{n(CO_2)}{n(C_8H_{18})} = \frac{16}{2}, \quad \frac{n(H_2O)}{n(C_8H_{18})} = \frac{18}{2},$$

josta saadaan

$$n(CO_2) = 8 \cdot n(C_8H_{18}), \quad n(H_2O) = 9 \cdot n(C_8H_{18}),$$

Eli

$$\begin{aligned} n(\text{kaasut}) &= n(CO_2) + n(H_2O) = 8 \cdot n(C_8H_{18}) + 9 \cdot n(C_8H_{18}) \\ &= 17 \cdot n(C_8H_{18}) = 17 \cdot 46,62 \text{ mol} = 792,5 \text{ mol}. \end{aligned}$$

Kaasujen yleistä tilanyhtälöä hyödyntäen saadaan kaasujen tilavuudeksi

$$\begin{aligned} V(\text{kaasut}) &= \frac{nRT}{p} = \frac{792,5 \text{ mol} \cdot R = 0,083145 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 723,15 \text{ K}}{2,02 \text{ bar}} \\ &= 23\,590 \text{ dm}^3 = 24 \text{ m}^3. \end{aligned}$$