

Gaslovsapparatet anvendes til undersøgelse af de velkendte specialtilfælde af idealgasligningen:

Boyle-Mariottes lov

$$p \cdot V = \text{konst.} \quad (\text{for } T, n \text{ konstante})$$

Gay-Lussacs lov

$$p = \text{konst.} \cdot T \quad (\text{for } V, n \text{ konstante})$$

Charles' lov

$$V = \text{konst.} \cdot T \quad (\text{for } p, n \text{ konstante})$$

Historisk set er disse gaslove forbundet med flere forskellige fysikere. Afhængigt af tradition og sprogområde kan samme lov derfor optræde under forskellige navne.

Ud fra målingerne kan en eksperimentel værdi for det absolutte nulpunkt bestemmes.

Nødvendigt udstyr

Til en komplet opstilling skal gaslovsapparatet kombineres med følgende udstyr, som anskaffes separat:

- 007560 Bægerglas, lav form, 2 L
- 275010 Dyppekoger
- 064045 Magnetomrører (eller tilsvarende)
- 260710 Termometer (eller tilsvarende)
- 000100 Stativfod (3 stk.)
- 000840 Stativstang (3 stk.)
- 002310 Stativmuffe (3 stk.)
- 890300-6 Demineraliseret vand
- 042300 Hanefedt/slibfedt/vakuumfedt

Opbygning

Apparatet omfatter følgende dele:

A) Et luftvolumen, som kan gives en veldefineret temperatur

Voluminet er opdelt i en fast del (aluminiumsflasken, slanger) og en variabel del (engangs-sprøjten). Den variable del af voluminet justeres og fastholdes af en spindel. Størrelsen aflæses på sprøjten med en 1 mL opløsning.

Temperaturen af luftvoluminet styres ved at sænke det ned i et vandbad, hvis temperatur aflæses med et almindeligt termometer.

B) Et væskemanometer

Manometeret er opbygget med en lodret meterstok og to glasrør, forbundet med en slange. Som væske anvendes demineraliseret vand.

Glasrørene kan sættes fast forskellige steder på meterstokken, så der alt i alt kan måles tryk-differencer i et område på ca. ± 900 mm vandsøjle (ca. ± 9000 Pa).

Den gren af manometeret, som er åben mod atmosfæren, afsluttes i en overløbsbeholder, så man altid kan placere denne gren lavt, mens man justerer andre parametre.

Den gren, som tilsluttes luftvoluminet, er forsynet med et kort slangestykke med Luer-Lock, som passer til forbindelsesslangen.

C) Forbindelsesslange med Luer-Lock koblinger

Slangen er en del af et luftvolumen, som *ikke* har vandbadets veldefinerede temperatur – det skal derfor være så lille som muligt. Der anvendes af samme grund en ultra-tynd slange.

Slangen skal holdes fri af manometervæsken, da denne ellers (på grund af hårrørsvirkningen) kan være vanskelig at få ud igen.

D) System til justering af luftmængde

En kort slange går fra aluminiumsflasken til en tregangshane. Ved hjælp af en ekstra plastsprøjte kan et lidt højere eller lavere starttryk opnås.

Luftvoluminet

Som omtalt er gassen, som skal undersøges, fordelt i et fast og et variabelt volumen:

$$V = V_{\text{FIX}} + V_{\text{VAR}}$$

I analysen af måledata kan V_{FIX} indgå som en kendt størrelse (se afsnittene *Kalibrering af voluminer* samt *Tekniske data*) – eller den kan indgå som en parameter, der f.eks. aflæses på en graf.

Kalibrering af voluminer

Under *Tekniske data* findes målte voluminer af de indgående dele. Men *disse parametre kontrolleres ikke* og vil sandsynligvis kunne variere.

Flaskens volumen kan bestemmes ved vejning før og efter fyldning med demineraliseret vand med kendt temperatur. Sørg for, at også proppen og studserne er fyldt (brug en sprøjteflaske til sidst). Alle udvendige dråber tørres af.

Slanger mv. er nemmest at opmåle med skydelære og lineal. (Med en del snedighed kan man også her bruge metoden med vand og en vægt.)

Plastsprøjten fyldes til 60 mL-mærket og vejes. Tømmes – men så der stadig er vand i spidsen – og vejes igen. Derved kan sprøjtens skala kalibreres.

NB: Efter at have haft vand i slanger, sprøjter og beholdere skal disse tørres *helt* ud, inden de kan bruges til målinger med luft! Ellers måles der på en blanding af luft og mættet vanddamp.

Manometeret

Lav en markering med en permanent tuschpen midt på det glasrør, som ender i en Luer-Lock kobling. Når væskeoverfladen i denne manometergren holdes på denne position i glasrøret, er det faste volumen konstant (også selv om glasrøret evt. flyttes på meterstokken).

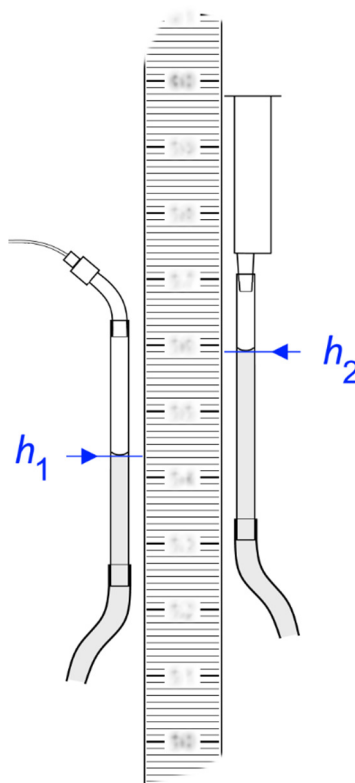
Manometeret fyldes med demineraliseret vand, så det ca. når midten af de to glasrør, når disse hænger lige højt. Der må ikke være større luftbobler i slangen eller glasrørene.

Manometeret viser differenstræk ift. atmosfæren – husk også at måle den aktuelle barometerstand (eller find den på nettet).

Trykdifferencen Δp er givet ved

$$\Delta p = \rho_V \cdot g \cdot (h_2 - h_1) ,$$

hvor ρ_V er massefylden af vand, g er tyngdeaccelerationen og h_1 og h_2 er væskestanden i de to grene.



Der kan være en lille nulpunktsfejl, hvis de to glasrør ikke har præcis samme indre diameter (skyldes hårrørsvirkningen). Aflæs h_1 og h_2 med begge grene åbne mod atmosfæren og korriger i de efterfølgende målinger (husk at bemærke fortegnet).

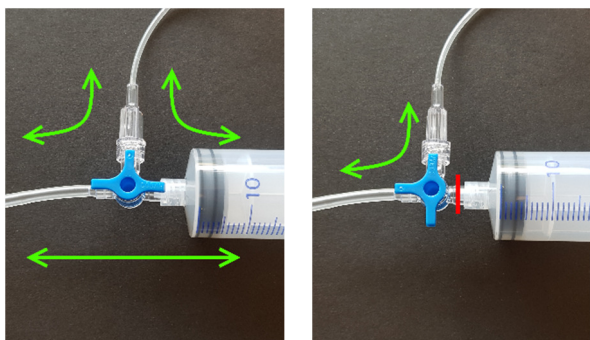
Glasrørene i manometeret fastgøres til meterstokken med to plastklips hver. Der medfølger ekstra klips som reserve.

Når manometeret ikke benyttes, skal det tømmes for vand, og klipsene skal fjernes fra glasrør og lineal for at undgå, at de mister deres elasticitet.

Etablering af starttryk (om ønsket)

Benyt sprøjten med Luer-Lock og trevejshanen som vist herunder.

Ét fuldt sprøjtevolumen (60 mL) er mere end nok til at øge eller mindske trykket indenfor manometerets måleområde.



Sprøjte tilsluttet

Sprøjte afbrudt

Man ændrer herved stofmængden n af gassen. (Den aktuelle stofmængde kan vi ikke *måle* som en uafhængig størrelse.)

Drej hanen, så der er lukket for sprøjten, og skru den af igen.

Tætning

Slangesamlinger, pakningen under flaskelåget samt stemplet i sprøjten kan smøres med en anelse vakuum-fedt.

Gaslovene

Idealgasligningen har formen

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

hvor p er gassens tryk, V er dens volumen og T er den absolutte temperatur af gassen. Gassens stofmængde betegnes n , og R er gaskonstanten.

Idealgasligningen er bl.a. baseret på tre vigtige specialtilfælde, som alle omhandler en *fast* stofmængde:

Boyle-Mariottes lov

$$p \cdot V = \text{konst.} \quad (\text{for } T, n \text{ konstante})$$

Gay-Lussacs lov

$$p = \text{konst.} \cdot T \quad (\text{for } V, n \text{ konstante})$$

Charles' lov

$$V = \text{konst.} \cdot T \quad (\text{for } p, n \text{ konstant})$$

Der er naturligvis tale om 3 forskellige konstanter.

Gaslovene – målbare størrelser

Gaslovsapparatet kan bruges til eftervisning af alle tre gaslove. Typisk vil man arbejde med følgende omskrivninger, som kan eftervises som *lineære sammenhænge mellem passende valgte (direkte målbare) størrelser*.

Boyle-Mariottes lov

$$V = \frac{\text{konst.}}{p}$$

Og med opsplittning af voluminet:

$$V_{\text{VAR}} = \text{konst.} \cdot \left(\frac{1}{p}\right) - V_{\text{FIX}}$$

(Dette udgør en metode til bestemmelse af V_{FIX} .)

Gay-Lussacs lov

$$p = \text{konst.} \cdot T$$

Udtrykt i celsiusgrader:

$$p = \text{konst.} \cdot t + p_0$$

Charles' lov

$$V = \text{konst.} \cdot T$$

Udtrykt i celsiusgrader samt opsplittet:

$$V = \text{konst.} \cdot t + V_0$$

$$V_{\text{VAR}} + V_{\text{FIX}} = \text{konst.} \cdot t + V_0$$

Gaslovene – betydning af ”dødt” volumen

I de fleste anvendelser vil man i beregningerne gå ud fra, at gassen har en bestemt temperatur. Men strengt taget er *en lille smule* af gassen ikke i kontakt med vandbadet. Hvis man ønsker at undersøge betydningen af denne lille fejl, må man opdele det faste volumen i en opvarmet del med rumfang V_T og temperatur T og en meget mindre del med rumfang v , som ikke er dyppet ned i vandet, og hvis temperatur vi her kalder T_A .

$$V_{\text{FIX}} = V_T + v$$

Boyle-Mariottes lov

Udføres målingerne ved stuetemperatur, har hele gasvoluminet samme temperatur, og en opdeling af voluminet er unødvendig.

Gay-Lussacs lov

Ud fra idealgasligningen kan man da udlede følgende sammenhæng:

$$p = \left(\frac{\text{konst.}}{V_T + v \cdot \frac{T}{T_A}} \right) \cdot T$$

Her er parentesens med særdeles god tilnærmelse en konstant, men den vil dog aftage en smule med temperaturen. Arbejder vi mellem 0 °C og 50 °C, er afvigelsen fra en lineær sammenhæng kun omkring 1 ‰.

Ekstrapolerer man linjen helt ned til det absolutte nulpunkt, vil dette dog typisk bestemmes nogle grader for lavt.

Charles' lov

Gassen i det ”døde” volumen v har konstant tryk, temperatur og rumfang – dvs. at stofmængden også er konstant. Der er med andre ord tale om en helt passiv del af gassen. Vi kan således blot fratække denne del af gasvoluminet. (Man kan regne sig frem til samme konklusion vha. idealgasligningen.)

Det vil sige, at udtrykket ender som:

$$V_{\text{VAR}} + V_T = \text{konst.} \cdot t + V_0$$

Eksperimenter

- 132220 Boyle-Mariottes lov
- 132230 Det absolutte nulpunkt (Gay-Lussacs lov)
- 132240 Charles' lov

Downloades fra www.frederiksen.eu

Tekniske data

Nominelle værdier – kontrolleres ikke!
(Anbefales udmålt – også plastsprøjtes skala.)

Opvarmet, fast volumen

Beholder	423 mL
Slange (fra beholder til sprøjte)	2,9 mL

Uopvarmet, fast volumen

Forbindesslange, tynd	1,0 mL
Slange til trevejshane	0,3 mL
Luer-Lock slange + halvt glasrør	1,6 mL

Variabel del

Plastsprøjten	0 – 60 mL
---------------	-----------

Reklamationsret

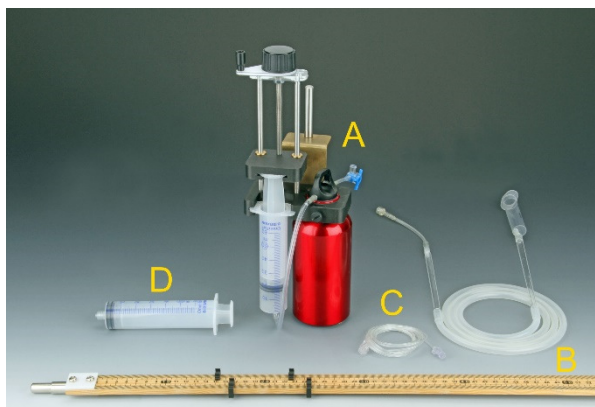
Der er to års reklamationsret, regnet fra fakturadato. Reklamationsretten dækker materiale- og produktionsfejl.

Reklamationsretten dækker ikke udstyr, der er blevet mishandlet, dårligt vedligeholdt eller fejlmonteret, ligesom udstyr, der ikke er repareret på vort værksted, ikke dækkes af garantien.

Returnering af defekt udstyr som garantireparation sker for kundens regning og risiko og kan kun foretages efter aftale med Frederiksen. Med mindre andet er aftalt med Frederiksen, skal fragtbetøbet forudbetales. Udstyret skal emballeres forsvarligt. Enhver skade på udstyret, der skyldes forsendelsen, dækkes ikke af garantien. Frederiksen betaler for returnering af udstyret efter garantireparationer.

© Frederiksen Scientific A/S

Denne brugsvejledning må kopieres til intern brug på den adresse hvortil det tilhørende apparat er købt. Vejledningen kan også hentes på vores hjemmeside.



The gas law apparatus is used in investigations of the well-known special cases of the ideal gas law:

Boyle's law

$$p \cdot V = \text{const.} \quad (\text{for } T, n \text{ constant})$$

Gay-Lussac's law

$$p = \text{const.} \cdot T \quad (\text{for } V, n \text{ constant})$$

Charles' law

$$V = \text{const.} \cdot T \quad (\text{for } p, n \text{ constant})$$

Historically, these gas laws are connected with several physicists. Depending on tradition and language region, each law is known by different names.

Based on the measurements, an experimental value for absolute zero can be found.

Equipment needed

For a complete setup, the gas law apparatus must be combined with the following items, to be purchased separately:

- 007560 Beaker, short, 2 L
- 275010 Immersion heater, 230 V, Schuko plug (or equiv.)
- 064045 Magnetic stirrer (or equiv.)
- 260710 Thermometer (or equiv.)
- 000100 Retort stand base (3 pcs.)
- 000840 Retort stand rod (3 pcs.)
- 002310 Bosshead (3 pcs.)

Demineralized water

- 042300 High vacuum grease

Structure

The apparatus comprises the following parts:

A) A gas volume that can be kept at a well-defined temperature

The volume is divided into a fixed part (aluminium bottle, hosing) and a variable part (plastic syringe). The variable volume is controlled by a spindle with a crank handle. The size is read on the syringe with a resolution of 1 mL.

The temperature of the gas volume is controlled by immersing it into a water bath; it is measured by a standard thermometer.

B) A liquid manometer

The manometer is built around a vertical metre ruler and two glass tubes, connected by a hose. Demineralized water is used as manometer fluid.

The glass tubes can be placed anywhere on the metre stick making it possible to measure pressure differences in a range of about ± 900 mm water column (approx. ± 9000 Pa).

The manometer branch that is open to the atmosphere ends in an overflow container, meaning that this branch can always be placed low while other parameters are being adjusted.

The branch that connects to the gas volume is equipped with a short hose with Luer-Lock, fitting the connection hose.

C) Connection hose with Luer-Lock

The hose is part of a small gas volume that does *not* have the well-defined temperature of the water bath – it must therefore be as small as possible. Therefore an ultra-thin hose is used.

The manometer fluid must be kept out of the hose – otherwise it will be hard to get out again due to the capillary action.

D) Gas amount adjustment system

A short hose goes from the aluminium to a three-way tap. Using an extra syringe, the start pressure can be adjusted somewhat up and down.

The gas volume

As mentioned, the gas we're investigating is divided into a fixed and a variable part:

$$V = V_{\text{FIX}} + V_{\text{VAR}}$$

When analysing the data, V_{FIX} can be considered a known entity (see sections *Calibration of volumes* and *Specifications*) – or it can be treated as a parameter that can be read from a graph.

Calibration of volumes

In section *Specifications*, some measured volumes are given. But these parameters *are not tested* and may vary.

The volume of the bottle can be found by weighing before and after filling it with water with a known temperature. Be careful to fill up the stopper and the pipe stubs as well (use a squeeze bottle for this). All external drops must be dried off.

Hoses etc. can easily be measured with a calliper and a ruler. (With some ingenuity, the water and weighing method may be used here as well.)

Fill the syringe to the 60 mL mark and weigh it. Empty the syringe – but keep the tip filled with water – and weigh it again. This allows the syringe scale to be calibrated.

Note! After using water in hoses, syringe or aluminium bottle, these parts must be dried out *completely* before they can be used for measurements with air! If not, the measurements will be a mixture of air and saturated water vapour.

The manometer

With a thin permanent pen, make a horizontal line at the centre of the glass tube that ends in a Luer-Lock fitting. When the liquid level in this manometer branch is kept at this position in the tube, the fixed volume is kept constant (regardless of where the tube is mounted on the ruler).

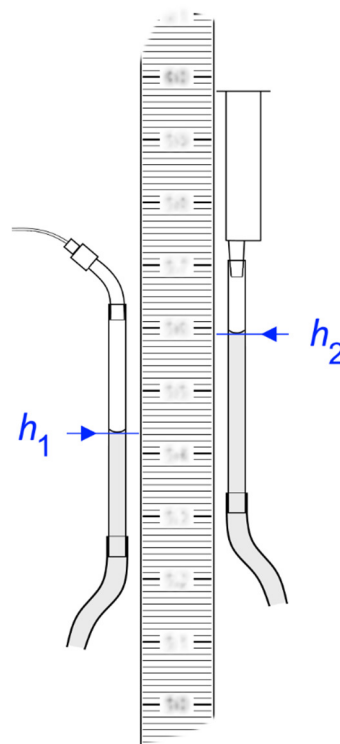
Fill the manometer with demineralized water, until the centre of the two glass tubes when these are placed at the same height. Avoid larger air bubbles in the tubes and the hose.

The manometer measures difference pressure rel. to the atmosphere – remember also to measure the barometric pressure (or use the internet).

The pressure difference Δp is given by

$$\Delta p = \rho_W \cdot g \cdot (h_2 - h_1) ,$$

where ρ_W is the density of water, g is the acceleration due to gravity, and h_1 and h_2 are the liquid levels in the two branches.



There may be a small off-set error if the two glass tubes don't have exactly the same inner diameter (due to capillarity). Read h_1 and h_2 with both branches open to the atmosphere and correct the following reading. (Pay attention to the sign.)

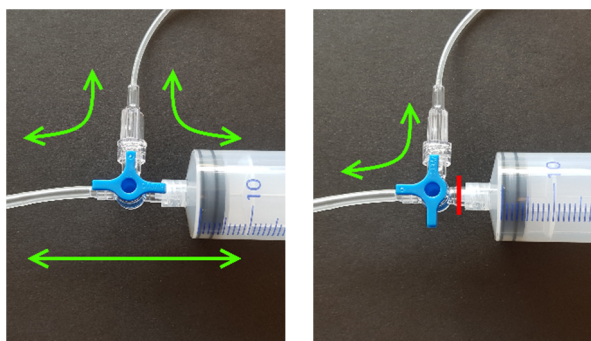
The glass tubes of the manometer are fixed to the metre ruler with two plastic clips each. Spare clips are provided.

When the manometer is not used, it should be emptied of the water. Remove the clips from both the tubes and the ruler to preserve their elasticity.

Establishing a possible start pressure

Use the syringe with Luer-Lock and the three-way tap as shown below.

One full syringe volume is more than enough to increase or lower the pressure inside the measurement range of the manometer.



Syringe connected

Syringe disconnected

This changes the amount of substance n of the gas. (We cannot *measure* the actual amount as an independent entity.)

Turn the tap to disconnect the syringe and remove it again.

Airproofing

Hose connections, the gasket under the bottle lid, and the piston of the syringe can get a tiny amount of vacuum grease.

The gas laws

The ideal gas law has the form

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

where p is the pressure of the gas, V is its volume and T is the absolute temperature of the gas.

The amount of substance is n , and R is the gas constant.

In order to establish the ideal gas law, the following special cases has historically played a significant role. The all consider a *fixed* amount of gas.

Boyle's law

$$p \cdot V = \text{const.} \quad (\text{for } T, n \text{ constant})$$

Gay-Lussac's law

$$p = \text{const.} \cdot T \quad (\text{for } V, n \text{ constant})$$

Charles' law

$$V = \text{const.} \cdot T \quad (\text{for } p, n \text{ constant})$$

The three constants are of course not the same.

The gas laws – measurable entities

The gas law apparatus can be used to demonstrate all three gas laws. Typically, you will work with the following rewrites, which can be seen as *linear relationships between appropriately selected (directly measurable) quantities*.

Boyle's law

$$V = \frac{\text{const.}}{p}$$

And when splitting the volume:

$$V_{\text{VAR}} = \text{const.} \cdot \left(\frac{1}{p}\right) - V_{\text{FIX}}$$

(This presents a method to measure V_{FIX} .)

Gay-Lussac's law

$$p = \text{const.} \cdot T$$

Expressed in degree Celsius:

$$p = \text{const.} \cdot t + p_0$$

Charles' law

$$V = \text{const.} \cdot T$$

In degrees Celsius, and splitting the volume:

$$V = \text{const.} \cdot t + V_0$$

$$V_{\text{VAR}} + V_{\text{FIX}} = \text{const.} \cdot t + V_0$$

Significance of the “dead” volume

In most uses of the equipment, the calculations will assume a definite temperature for the gas. But strictly speaking, *a little amount* of gas is not in contact with the water bath. To examine the significance of this small error, we divide the fixed volume into a heated part with volume V_T and temperature T and a much smaller part with volume v and temperature T_A which is not immersed in the water (the “dead” volume).

$$V_{\text{FIX}} = V_T + v$$

Boyle's law

If the experiment is performed at room temperature, all of the gas has the same temperature and the division is unnecessary.

Gay-Lussac's law

From the ideal gas law, the following relation can be derived:

$$p = \left(\frac{\text{const.}}{V_T + v \cdot \frac{T}{T_A}} \right) \cdot T$$

The parenthesis is to a very good approximation a constant, although it will decrease slightly with temperature. Working between 0 °C and 50 °C will only expose deviations from linearity around 1 ‰.

However, if you extrapolate the straight line all the way down to absolute zero, this will typically be determined a few degrees too low.

Charles' law

The gas in the “dead” volume v has constant pressure, temperature and volume – i.e. the amount of gas is a constant as well. This is in other words a completely passive part of the gas. Thus, we can simply subtract this part of the gas volume. (The same conclusion can be reached through calculations based on the ideal gas law.)

Hence the expression changes to:

$$V_{\text{VAR}} + V_T = \text{const.} \cdot t + V_0$$

Experiments

- 132220 Boyle's law
- 132230 Absolute zero (Gay-Lussac's law)
- 132240 Charles' law

Can be downloaded from www.frederiksen.eu

Specifications

Nominal values – not checked!
(Recommended gauged – including the scale of the plastic syringe.)

Heated, fixed volume

Aluminium flask	423 mL
Hose (from flask to syringe)	2,9 mL

Un-heated, fixed volume

Connection hose, thin	1,0 mL
Hose to three-way tap	0,3 mL
Luer-Lock hose + half glass tube	1,6 mL

Variable part

Plastic syringe	0 – 60 mL
-----------------	-----------