

# PRÀCTICA 1

## TERMÒMETRE DE GAS

### OBJECTIUS

---

Comprovació de les lleis dels gasos ideals. Verificació del funcionament del termòmetre de gas a pressió constant. Estimació del zero absolut de temperatures.

### MATERIAL NECESSARI

---

- ✓ Termòmetre de gas
- ✓ Bomba de buit amb manòmetre
- ✓ Camisa de vidre connectada amb el bany
- ✓ Termòmetre digital
- ✓ Bany termostàtic amb termòmetre de contacte

### INTRODUCCIÓ TEÒRICA

---

#### Equació d'estat dels gasos ideals

A pressions inferiors o de l'ordre de la pressió atmosfèrica (i temperatures de l'ordre de la d'ambient o superiors), les variables d'estat dels gasos estan relacionades entre si d'una manera simple. Esta relació, obtinguda en la Termodinàmica en forma experimental però que pot deduir-se també fent ús dels models microscòpics i postulats de Física Estadística, s'anomena *equació d'estat dels gasos ideals*. Es pot escriure com

$$pV = nRT \quad (1)$$

on  $n$  és el nombre de mols,  $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  la constant universal dels gasos,  $T$  la temperatura termodinàmica o absoluta (expresada en kelvin),  $V$  el volum i  $p$  la pressió. Per tant, mesures de pressió (a  $V$  ctant) o volum (a  $p$  ctant) permeten determinar la temperatura absoluta o termodinàmica. Ambdues relacions són lineals en la temperatura, com pot comprovar-se de l'eq. (1). Por tanto, medidas de presión o de volumen permiten determinar la temperatura absoluta o termodinámica. Ambas relaciones son lineales en la temperatura, como puede comprobarse a partir de la ec. (1).

Si  $V_0$  és el volum del gas a  $0^\circ\text{C}$ , dividint l'eq. (1) per  $pV_0 = nRT_0$ , on  $T_0 = 273.15 \text{ K}$ , obtenim l'expressió

$$T = T_0 \frac{V}{V_0} \quad (2)$$

que és el fonament del termòmetre de gas ideal a pressió constant.

#### Llei de Boyle-Mariotte

En processos a temperatura constant o isotermo, l'equació d'estat (eq. (1)) es redueix a

$$pV = \text{ctant} \quad (3)$$

que també es coneix com *llei de Boyle-Mariotte*. És una de les lleis experimentals que va conduir a l'eq. (1). La primera part de la pràctica consisteix en comprovar que el gas contingut en el capil·lar es comporta d'acord a l'eq. (3) a temperatura ambient.

## El zero absolut de temperatures. Coeficient de dilatació dels gasos

En processos a pressió constant o isòbars, l'eq. (1) es redueix a  $V \propto T$ . Esta relació de proporcionalitat és vàlida també quan la temperatura s'expressa en l'escala Celsius, de manera que una gràfica de  $V$  front a  $t$  és una recta. Si utilitzem com a referència la temperatura ambient  $t_a$ , i denotem per  $V_a$  el volum del gas a la mateixa, l'equació d'esta recta és

$$V = V_a(1 + \alpha' \Delta t) \quad (4)$$

on  $\Delta t \equiv t - t_a$  és l'increment de temperatura respecte a la de l'ambient i  $\alpha'$  és una constant de proporcionalitat. Aïllant de l'eq. (4), el punt d'intersecció de la recta  $V(t)$  amb l'eix de temperatura ( $V = 0$ ) ens permet obtenir la temperatura més baixa que es pot assolir (el zero absolut de la temperatura termodinàmica); en l'escala Celsius és

$$t_{0K} = t_a - \frac{1}{\alpha'}. \quad (5)$$

A manera de comentari final, cal recordar que el coeficient de dilatació es defineix com

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad (6)$$

i no és constant. Per al cas particular dels gasos, es pot comprovar de l'eq. (1) que  $\alpha = 1/T$ . Integrant de manera aproximada l'eq. (6) suposant que  $\alpha$  és constant, s'obté  $V \approx V_a(1 + \alpha \Delta t)$ , que és l'expressió empleada habitualment per a descriure la dilatació tèrmica dels cossos, encara que només és vàlida en un xicotet rang de temperatures. L'eq. (4), no obstant això, és exacta per a gasos ideals i el significat de  $\alpha'$  pot deduir-se integrant l'eq. (6).

## PROCEDIMENT EXPERIMENTAL

### Termòmetre de gas

El termòmetre de gas (a volum o a pressió constants) és un termòmetre primari lligat a l'escala de temperatures absolutes. El termòmetre de la pràctica consisteix en un volum d'aire sec tancat per una gota de mercuri, que actua com a èmbol, dins d'un capil·lar calibrat. (La gota de mercuri pot treure's invertint el termòmetre, ja que un filtre de vidre sinteritzat impedeix que se n'isca del tub. L'aire es seca per un recipient que conté silicagel. No està recomanat que això ho realitze l'alumne).

En la part superior del termòmetre existeix una ampolleta amb silicagel, per a assecar l'aire que penetra en el capil·lar. El tub està obert per la part superior, per on es connecta la bomba per tal de variar la pressió sobre el gas tancat al tub (Figura 1). El muntatge es completa amb una camisa de vidre plena d'aigua connectada amb el bany termostàtic. Un termòmetre digital connectat en un dels laterals de la camisa permet conèixer la temperatura de l'aigua de la camisa i per tant la del gas tancat en el capil·lar.

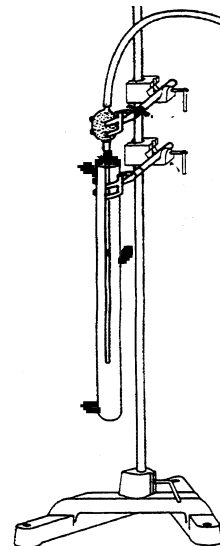


Figura 1. Termòmetre de gas amb camisa de vidre.

El volum del gas en l'interior del capil·lar es determina mitjançant la lectura en l'escala mil·limètrica de l'altura que assoleix la gota de mercuri. El diàmetre interior del capil·lar és  $2.7 \pm 0.2$  mm.

D'altra banda, la pressió sobre el gas és

$$p = p_{atm} + p_{Hg} + \Delta p \quad (7)$$

on  $p_{atm}$  és la pressió atmosfèrica (mesurada en el baròmetre del laboratori),  $p_{Hg}$  és la pressió corresponent al pes de la gota de mercuri que segella el gas, i  $\Delta p$  és la diferència de pressió (negativa) donada pel manòmetre de la bomba de buit. Per a conèixer  $p_{Hg}$  basta amb mesurar la longitud de la gota, si bé esta correcció és menyspreable a pressió atmosfèrica.

### Comprovació de la llei de Boyle-Mariotte

En este cas, es mantindrà constant la temperatura, per a la qual cosa es connectarà la circulació del bany, però sense encendre el calefactor. Quan s'haja estabilitzat la temperatura mesurada pel termòmetre digital en la camisa, es mesurarà el volum ocupat pel gas en funció de la pressió sobre este, què es modificarà amb la bomba. Per a començar es determina el "volum de repòs" del gas, és a dir, quan la bomba no està actuant sobre el gas ( $\Delta p = 0$ ). El volum de repòs ve a ser d'aproximadament  $2/3$  del volum total del capil·lar. A continuació es comença a reduir la pressió accionant la bomba. Reduïu la pressió a intervals de 50 mbar, fins a arribar a  $\Delta p = -500$  mbar, aproximadament. i anoteu l'altura de la gota de mercuri. En acabar, s'ha de tornar a la pressió atmosfèrica.

### Termòmetre de gas a pressió constant. Estimació del zero absolut

L'experiment a pressió constant es realitza a la pressió atmosfèrica, és a dir, sense utilitzar la bomba manual. El primer punt correspondrà a les lectures del volum i temperatura ambientals,  $V_a$  i  $t_a$ , amb la circulació del bany activada. A partir d'eixe moment, s'encendrà el calefactor del bany i es connectarà el termòstat per a realitzar successives mesures incrementant la temperatura de 10 en 10 °C aprox. fins a obtenir 7 o 8 punts. És important no prendre la mesura de volum i temperatura fins que la temperatura de la camisa s'haja estabilitzat (es mantinga constant la lectura del termòmetre digital).

## PRESENTACIÓ DE RESULTATS

---

- Tabla de valors de  $V$  i  $p$  (expresats en unitats del SI) obtinguts a  $T$  ctant. Gràfica de  $\ln p$  front a  $\ln V$ . Comproveu que es compleix la llei de Boyle-Mariotte verificant que l'ajust per mínims quadrados ens dóna una recta de pendent  $-1$ .
- Gràfica de  $V/V_a$  front a  $\Delta t$  per al procés a  $p$  ctant. i ajust per mínims quadrats. Valor de  $\alpha'$ .
- Valor obtingut per a  $t_{0K}$  després de l'extrapolació de la recta anterior a  $V/V_a \rightarrow 0$ . Comenta este resultat.