

## PRÀCTICA 4B

### PROCESSOS ADIABÀTICS EN GASOS

#### OBJECTIU

Estudi de la compressió i l'expansió adiabàtiques en diferents tipus de gasos, mesurant-ne la pressió, la temperatura i el volum al llarg del procés. Determinació del treball adiabàtic i de la constant adiabàtica .

#### MATERIAL NECESSARI

- Aparell de la llei adiabàtica PASCO TD-8565, proveït d'un cilindre amb èmbol mòbil i sensors de pressió, temperatura i volum (Vegeu la fig. 1).
- Interfície 300 i cables auxiliars de connexió per als sensors de pressió i temperatura.
- Software Scientific Workshop de PASCO per a la recollida i tractament de mesures.
- Ordinador Macintosh o PC.
- Gasos (aire, CO<sub>2</sub>, i Ar)

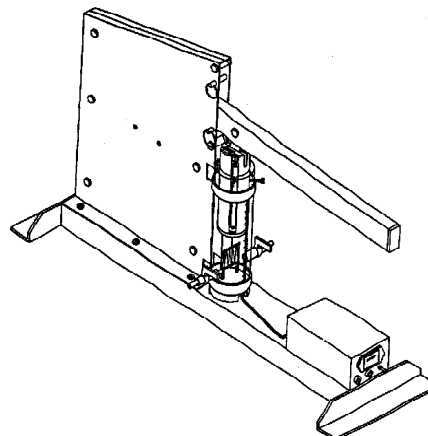


Figura 1. Dispositiu experimental

#### INTRODUCCIÓ TEÒRICA

Un procés és adiabàtic quan no es produeix intercanvi de calor entre el sistema i l'ambient. Aquesta situació es donaria quan hi hagués un aïllament tèrmic perfecte del sistema, o quan el procés s'esdevingués tan de pressa que no hi hagués pràcticament transferència de calor. Si considerem que el sistema és un gas ideal, la combinació del primer principi de la termodinàmica amb l'equació d'estat dels gasos ideals proporciona una nova llei anomenada de vegades *equació adiabàtica*. Per a la seua deducció suposem un procés adiabàtic, és a dir,  $\delta Q=0$ . Així, segons el primer principi:

$$dU = -\delta W = -p dV. \quad (1)$$

Si el gas és ideal, diferenciant l'equació d'estat  $pV=nRT$ , obtenim:

$$p dV + V dp = nR dT. \quad (2)$$

Com que és un gas ideal,  $dU=nc_v dT$ , i podem substituir  $nRdT=-(Rp/c_v)dV$  de l'equació (1) en l'equació (2), és a dir:

$$p dV + V dp = -\left(\frac{R_p}{c_v}\right) dV \Rightarrow p \left(1 + \frac{R}{c_v}\right) dV + V dp = 0. \quad (3)$$

Tenint en compte que  $c_p - c_v = R$  i definint la *constant adiabàtica*  $\gamma = c_p/c_v$ , s'arriba a

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dV}{V} = 0, \quad (4)$$

que pot integrar-se fàcilment si  $\gamma$  és constant (cosa que es compleix raonablement bé per a gasos simples a temperatures moderades) per obtenir l'equació adiabàtica

$$\ln p + \gamma \ln V = \text{constant} \quad \text{ó} \quad pV^\gamma = \text{constant}. \quad (5)$$

Combinant aquesta última equació i la de la llei dels gasos ideals, també es pot obtenir:

$$TV^{\gamma-1} = \text{constant}. \quad (6)$$

D'altra banda és fàcil calcular el treball fet pel gas en un procés adiabàtic entre els estats 1 i 2. Tenint en compte  $\delta W = pdV$  i que per la llei adiabàtica  $p = k/V^\gamma$ , sent  $k = p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$  constant:

$$W = k \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{p_1 V_1}{1-\gamma} [V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}] \quad (7)$$

Noteu que igual que per a compressions adiabàtiques ( $V_2 < V_1$ ), el treball fet pel gas és negatiu, és a dir, cal realitzar treball sobre el sistema, com és lògic. Així mateix, com pel primer principi  $\Delta U = -W$ , aleshores  $\Delta U > 0$  (el treball realitzat sobre el gas fa que augmente la seua energia interna). Això indica que en una compressió adiabàtica la temperatura del gas augmenta. Per contra, en una expansió adiabàtica ( $V_2 > V_1$ ),  $W > 0$  i  $\Delta U < 0$ , és a dir, el gas realitza treball a costa de la seua energia interna, la qual disminueix. Per això, en una expansió adiabàtica disminueix la temperatura del gas.

## PROCEDIMENT EXPERIMENTAL

El muntatge de l'experiment l'ha de verificar el professor o la professora abans de manipular el pistó i procedir a la presa de dades.

### Muntatge experimental

El muntatge consta del que segueix: 1) aparell pistó-cilindre que conté els sensors de pressió, temperatura i volum del gas tancat dins el pistó; 2) ordinador (Macintosh o PC) per al registre i la manipulació de les dades mesurades, amb el programa Scientific Workshop; i 3) interfície 300 analogicodigital per transferir les mesures des dels sensors fins a l'ordinador.

L'aparell (figura 2) consta d'un pistó de plàstic (a) que es pot moure manualment dins un cilindre transparent (b) que conté un gas, introduït i extret a través de les dues vàlvules metàl·liques (c). Muntat al llarg del pistó hi ha un divisor lineal de tensió (d), alimentat per una font de tensió interna de 5 V, que s'utilitza per determinar la posició del pistó (i amb això el volum de gas tancat) mitjançant la mesura del voltatge a la connexió (e). A la base del cilindre (f) hi ha el sensor de pressió i el de temperatura. Segellat a la part inferior de la base, el sensor de pressió és un element piezoresistiu. El sensor de temperatura (g) està muntat sobre la base i és un fil prim d'aram de níquel amb un coeficient de resistència molt alt. Ambdós sensors estan connectats a un muntatge en pont, alimentat per una font externa de 9 V, amb sengles amplificadors. Els amplificadors donen la mesura dels sensors en volts, proporcionals a la pressió i a la temperatura, respectivament.

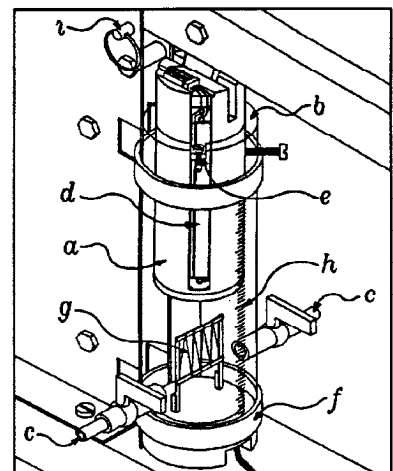


Figura 2. Detall del cilindre

Sobre el cilindre trobem una escala mil·limètrica (h) que permet determinar la posició del pistó per calcular el volum (això és necessari per al calibratge, tal com veureu més avall). Dos topalls mòbils (i) limiten el moviment de la palanca del pistó. Quan no s'utilitzen, els topalls es guarden als dos forats situats damunt l'etiqueta central de l'aparell.

A la base de l'aparell hi ha un compartiment amb la pila de 9 V que alimenta el muntatge en pont dels sensors de pressió i temperatura. L'interruptor ha de ser a la posició ON per a la pila. El cable del sensor de volum (fixat a l'aparell) està connectat al canal A de la interfície. Els cables auxiliars connecten el sensor de temperatura al canal B i el de pressió al canal A. A l'ordinador iniciem el programa Scientific Workshop. Apareixerà una pantalla com la figura 3. Arrossegueu la icona «Cable de connexió» fins a un dels canals i seleccioneu el tipus de sensor corresponent. Repetiu-ho per a cadascun dels canals restants. En tot cas, les sortides dels tres sensors són voltatges, amb una relació lineal prou aproximada entre el voltatge i la magnitud mesurada ( $V, T, p$ , segons el cas).

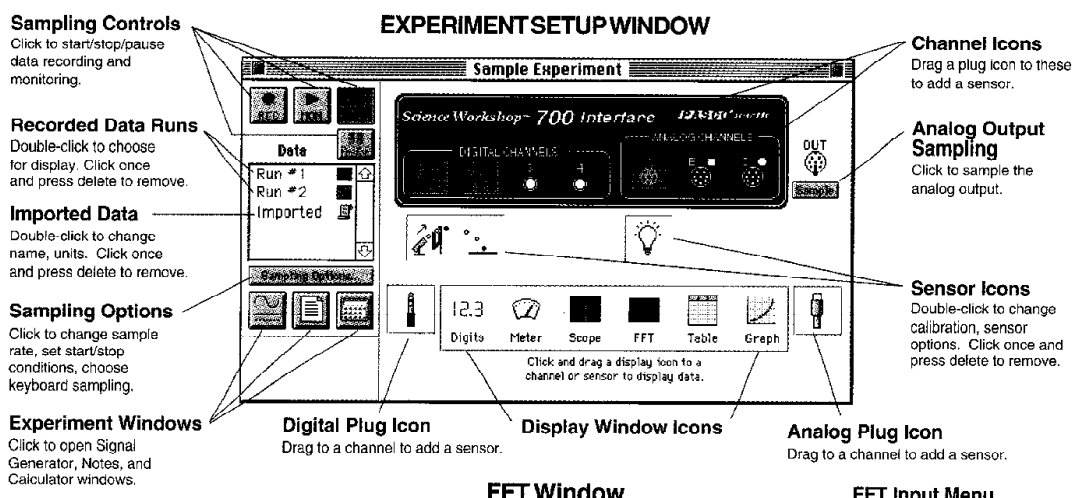


Figura 3. Pantalla inicial del *Scientific Workshop*

Per comprovar si els sensors funcionen correctament i el muntatge està ben fet, arrossegueu la icona «Graph» (gràfica) sobre els canals A, B i C. Amb això tindrem una representació gràfica de la sortida de cadascun dels canals en funció del temps. Ara podem activar el mode «MON» (*monitor*, per visualitzar les dades sense gravar-les) mentre movem el pistó amunt i avall, amb les vàlvules tancades. A les gràfiques han d'aparèixer els senyals dels tres canals, variant segons comprimim i expandim el gas. Una vegada comprovat que els sensors responen adequadament, premeu STOP per aturar la visualització de les dades.

### Calibratge dels sensors

Una vegada s'ha verificat el funcionament de l'aparell, es procedeix al calibratge dels sensors. És a dir, la conversió de la sortida en volts dels sensors en les magnituds corresponents. Fent doble clic a la icona que representa un sensor, s'activa la pantalla de calibratge d'aquest.

(i) *Volum*: Situeu el pistó a la posició més alta (amb els topalls llevats). Quan la lectura en volts s'ha estabilitzat, premeu *Read* i calculeu el volum corresponent a partir de la mesura de la posició del pistó a l'escala mil·limètrica del cilindre i del radi del pistó (una mesura del radi figura a l'etiqueta central de l'aparell). A causa de les vàlvules, cal afegir  $1 \text{ cm}^3$  als volums calculats. Introduïu el valor de volum calculat a la casella corresponent. Tot seguit repetiu tot el procés per a la posició més baixa del pistó.

(ii) *Temperatura*: Cada aparell proporciona una equació lineal de calibratge ( $T$  en funció del voltatge) a l'etiqueta central. Amb el pistó alçat, premeu *Read* per prendre el voltatge corresponent al primer punt de calibratge, i introduïu la temperatura calculada per l'equació de calibratge per a aquest voltatge. Per obtenir el segon punt de calibratge, comprimeu el gas (amb les vàlvules tancades) i ràpidament premeu *Read* per obtenir una lectura de voltatge elevada. Calculeu i introduïu la temperatura corresponent. Heu de tenir en compte que, en aquest procediment, la primera lectura correspon a la temperatura baixa i la segona a la temperatura alta (després de la compressió).

(iii) *Pressió*: El sensor de pressió està calibrat pel fabricant: 1,00 V equival a 100 kPa (pressió absoluta). Amb el pistó a la posició superior, premeu *Read* quan la lectura de voltatge s'haja estabilitzat. Introduïu el valor corresponent de pressió (multiplicant la lectura en volts per 100 000). Moveu el pistó fins avall, amb les vàlvules tancades, i manteniu-lo a la posició inferior. Quan la lectura s'estabilitze, procediu com en el punt de calibratge anterior.

Els temps de resposta dels sensors de volum i pressió són negligibles; però, a causa de la inevitable inèrcia tèrmica del sensor de temperatura, les seues mesures tenen un retard de 30-50 ms.

### Realització de les mesures

Per fer mesures de compressió i d'expansió de gasos, és convenient inserir els topalls a fi de limitar el moviment del pistó. Per recollir i gravar les dades, opereu el programa en el mode *REC* (*record*). Premant el botó *Sampling options*, situeu la freqüència de mostreig en 50 dades per segon.

(i) *Compressió*. Ompliu el cilindre amb aire a la pressió atmosfèrica. Tanqueu les vàlvules i espereu uns quants segons fins que s'assolisca l'equilibri (activant el mode *MON*, es pot comprovar que les lectures dels sensors no canvien). En aquest moment activeu el mode *REC* i comprimeu ràpidament el gas mantenint el pistó a la posició inferior fins a aturar l'adquisició de dades prement *STOP*. A la pantalla principal, a l'esquerra, apareixerà *Run #1*, que indica que la sèrie de dades ha quedat gravada amb aquest nom. Per a successives preses de dades apareixerà *Run #2*, *Run #3*, etc. Activant *Graph* a cada sensor, podem visualitzar la variació amb el temps del volum, de la pressió i de la temperatura del gas durant el procés.

(ii) *Expansió*. Manteniu el pistó a la part inferior amb les vàlvules tancades fins que s'assolisca l'equilibri. Activeu el mode *REC* i porteu el pistó fins a la posició superior a fi de produir una expansió. Aquesta s'ha d'efectuar ràpidament. Manteniu el pistó a la part superior fins a prémer *STOP*. Visualitzeu els resultats obtinguts en *Graph*.

Els processos de compressió i d'expansió per a un gas donat es poden repetir diverses vegades per obtenir més resultats que permeten una comparació. Un factor determinant és el temps invertit en el procés, ja que el caràcter adiabàtic depèn de la rapidesa amb què el procés es du a terme.

(iii) *Canvi de gas*. Al cilindre es poden introduir diferents gasos, a fi de comparar els resultats en funció del tipus de gas usat (mono-, di-, triatòmic). A més de l'aire, podem utilitzar argó i diòxid de carboni. Aquests s'obtenen de les bombones disponibles al laboratori, que van proveïdes d'un manoreductor per disminuir la pressió de sortida a menys de 35 kPa (introduir el gas a una pressió més elevada pot danyar el sensor de temperatura dins el cilindre). A més cal purgar el cilindre perquè no hi queden restes del gas anterior. Per això, el canvi de gas l'ha de supervisar el professor o la professora de laboratori. El procés que cal seguir és el següent:

- Connecteu la sortida de la botella (tub groc per a l'argó i gris per al diòxid de carboni) a una de les vàlvules del cilindre.
- Lleveu els topalls del pistó a fi que aquest es pugui moure lliurement entre les posicions extremes.
- Amb el pistó baix i l'altra vàlvula tancada, ompliu el cilindre amb el gas fins al màxim volum.

- Tancant la vàlvula d'ompliment, buideu el gas per l'altra vàlvula portant el pistó fins avall.
- Tanqueu la segona vàlvula i torneu a omplir el cilindre amb el gas.

Repetiu aquest procés nou vegades, com a mínim, i acabeu amb el cilindre ple. Tanqueu les dues vàlvules i col·loqueu els dos topalls per limitar el moviment del pistó. Amb el nou gas omplint el cilindre, podeu prendre les mesures corresponents a la compressió i l'expansió de la mateixa forma que en els apartats anteriors.

## PRESENTACIÓ DE RESULTATS

El tractament de les dades i els càlculs necessaris es poden realitzar amb el programa Scientific Workshop. El funcionament de les diverses opcions és detallat al fullet explicatiu (en anglès) que hi ha al lloc de treball. Les tres opcions més importants (gràfiques, taules i calculadora) es mostren a la pàgina següent. Per a qualsevol aclariment, es pot consultar el professor o la professora de laboratori. En cadascun dels processos de compressió i d'expansió que hem realitzat amb els diversos gasos, cal presentar els resultats següents:

a) Selecció de les dades corresponents al procés.

Representació gràfica de l'evolució de les tres magnituds ( $V, p, T$ ) amb el temps. En aquestes gràfiques es poden apreciar amb claredat els punts que corresponen al procés de compressió o d'expansió. D'aquests punts, trieu el punt corresponent a l'estat inicial i a l'estat final. Convé escollir aquests dos punts de manera que siguin fàcilment identificables a les gràfiques (distingibles dels veïns). Una vegada identificats, activeu *Table* al programa per recollir les dades  $V, p$  i  $T$  dels punts considerats. Anoteu els valors per als estats inicial i final.

b) Determinació del treball adiabàtic.

Representeu gràficament  $p$  enfront de  $V$ . Per seleccionar els punts triats en l'apartat anterior, feu clic i arrossegueu sense soltar el cursor del ratolí a la pantalla de la gràfica fins a cobrir els punts desitjats. En seleccionar els punts, aquests apareixen ombrejats en groc. Al paquet estadístic del programa seleccioneu *Integration* per calcular l'àrea tancada per la corba i l'eix del volum entre els punts seleccionats. Això donarà el treball realitzat per o sobre el gas en el procés. Compareu el valor obtingut amb el calculat segons l'equació (7), les dades dels estats inicial i final del procés, i el valor real de  $g$  del gas estudiat.

c) Càlcul de la constant adiabàtica.

A la pantalla principal, activeu *Calculator* per calcular  $\ln p, \ln V$  i  $\ln T$  a partir de les dades  $p, V$  i  $T$  mesurades (en aquest cas,  $T$  ha de ser en  $K$ ). Representeu  $\ln p$  enfront de  $\ln V$  i, seleccionant els punts considerats sobre la gràfica (com en l'apartat anterior), activeu novament el paquet estadístic per a *Regression* i *Linear fit* per fer un ajust lineal de les dades. Segons l'equació (5), el pendent de l'ajust és igual a  $-\gamma$ . Repetiu el procediment representant  $\ln T$  enfront de  $\ln V$ . Segons l'equació (6) el pendent és ara  $1-\gamma$ . Compareu els resultats experimentals amb els valors coneguts de  $\gamma$  per als diversos gasos estudiats.