

# Termodinamica e laboratorio : esperienze

## Apparato per lo studio delle leggi sui gas - Macchina termica

L'apparato consiste in un sistema pistone-cilindro, collegabile ad una camera di espansione (cilindro chiudibile con tappo di gomma). Il pistone in grafite scorre all'interno del cilindro in pyrex in condizioni di "quasi" assenza di attrito. Il sistema pistone-cilindro non garantisce una perfetta tenuta e di conseguenza il numero di moli di gas interessate potrebbe non mantenersi costante per un tempo di misura lungo.

L'apparato possiede connettori a baionetta a bloccaggio rapido che permettono di collegare il cilindro con l'esterno o con un sistema di tubi; ogni connettore ha una valvola di blocco a scatto.

L'apparato può essere collegato a un  sensore di posizione angolare  (mod. CI-6538), che permette di misurare lo spostamento lineare e quindi la variazione del volume del gas nel cilindro, ed a un  sensore di bassa pressione  (CI-6605 low pressure sensor)) che permette di misurare la pressione del gas nel cilindro. Nella camera di espansione può essere inserito un  sensore di temperatura  (mod CI-6605 stainless steel temperature sensor).

CI-6534

Le misure caratteristiche del sistema sono:

Diametro del pistone:  $\Phi = (32.5 \pm 0.1)$  mm

Massa (pistone + piattaforma):  $M = (35.0 \pm 0.6)$  g

### **AVVERTENZE GENERALI per Software Data Studio**

#### **.- Installare i due sensori da utilizzare**

Sensore posizione angolare (mod. CI-6538) (jack giallo a sinistra, nero a destra)

.- impostare puleggia media e **spostamento lineare** (determinato da diametro puleggia)

.- impostare risoluzione angolare massima => sensibilità = 1/1440 di giro

.- il software dà lo spostamento lineare (variazione di posizione, in metri).

Sensore di bassa pressione (mod. ~~CI-6605~~ CI-6534)

Sensore di pressione assoluta da 0 (cioè pressione atmosferica) a 10 kPa, cioè 0.1 atm, con sensibilità = 0.005 kPa (1 atm=10<sup>5</sup> Pa = 100 kPa). Il sensore va calibrato (un punto): 1atm => 0

Sensore di temperatura (acciaio, mod CI-6605). Sensibilità : 0.05 °C. (il sensore non va calibrato).

#### **N.B.**

.- Una volta scelto il sensore, nel pannello a sinistra, doppio clic sul sensore per scegliere cifre significative (in base alla sensibilità del sensore) che devono essere acquisite.

.- Una volta impostati i sensori, aprire il grafico (mettendo in x e y le grandezze volute) ed iniziare raccolta dati.

.- La opzione "Interpolazione", dopo aver selezionato nel grafico i dati "utili", permette di ricavare, in una prima analisi, i parametri caratteristici dell'andamento osservato (costante di tempo in un andamento esponenziale, coefficiente angolare in un andamento lineare).

.- Per una analisi dati più accurata, salvare le tabelle dati acquisite in formato testo, per poterle poi importare su ORIGIN.

## Esperienza 0 : Costante di tempo del termometro

- Predisporre la misura della temperatura  $T$  in funzione del tempo  $t$ .
  - Utilizzando due thermos (con acqua calda a  $T_1$  e con acqua fredda a  $T_2$ ), ricavare il grafico con l'andamento di  $T(t)$  quando il termometro passa da  $T_1$  a  $T_2$  e da  $T_2$  a  $T_1$ .
- La opzione "Interpolazione" del software permette di ricavare rapidamente la costante di tempo del termometro che caratterizza la risposta esponenziale (circa) del termometro.
- Per una analisi piu' accurata, esportare le tabelle dati in formato testo, importarle su Origin, linearizzare i dati, e ricavare  $\tau$  con un fit lineare.

## Esperienza A: Verifica della legge di Boyle (isoterma)

Legge di Boyle: a temperatura costante,  $PV$  è costante:

**Gas perfetti:**  $PV = nRT$ , con  $T$  in  $^{\circ}K$  e  $R = 8.31 \text{ J}/(\text{moli} \cdot ^{\circ}K)$  è la costante dei gas perfetti.

(N.B. Poiché il numero di moli d'aria all'interno del cilindro può non rimanere costante anche per piccole variazioni di pressione (causa perdite), i dati sperimentali ottenuti possono non rispettare la relazione di proporzionalità inversa tra pressione e volume).

Per piccole variazioni di pressione intorno a  $P = P_0 = 1 \text{ Atm} = 101.3 \text{ KPa}$ , se  $n=\text{cost}$ , si può sviluppare in serie l'espressione di  $V$ :

$$V = nRT/P \cong nRT/P_0 - [nRT/P_0^2] (P - P_0) = nRT/P_0 [ 2 - (P/P_0) ],$$

Poiché  $V_0 = nRT/P_0$ , si ha:  $V = V_0 [ 2 - (P/P_0) ] \Rightarrow V - V_0 = \Delta V = V_0 - V_0 P/P_0 = V_0 (P-P_0)/P_0$

Con  $\Delta P = P - P_0$ , si ha quindi  $\Delta V = - (V_0/P_0) \cdot \Delta P$

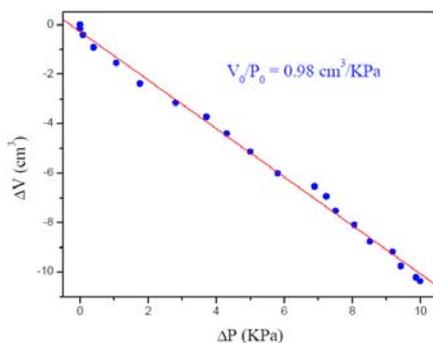
(N.B. Oltre all'approssimazione fatta con lo sviluppo in serie, occorrerebbe anche tener conto delle incertezze sul volume totale occupato dal gas (cilindro + tubi + connettori...))

PREPARAZIONE:

- 1 Cilindro posizionato orizzontalmente (la pressione iniziale e' quella atmosferica).
- 2 Collegare il sensore di pressione all'interfaccia ( $P$  atmosferica  $\Leftrightarrow P=0$ ). Il pistone deve essere collegato alla puleggia del sensore di posizione angolare mediante un filo, mantenuto in tensione da una piccola massa. (basta un piccolo fermaglio metallico)
- 3 Collegare il sensore di posizione all'interfaccia (posizione iniziale =0).
- 4 Predisporre la misura di spostamento  $x$  ( $\Rightarrow$  volume  $V$ ) in funzione di  $P$

PROCEDIMENTO:

- Esercitando con la mano una leggera pressione (lenta e continua) per comprimere il pistone, ricavare l'andamento  $\Delta x$  ( $\Rightarrow \Delta V$ ) vs  $\Delta P$  scegliendo una frequenza di campionamento adeguata.
- I dati raccolti si dispongono (dovrebbero disporsi) su una retta di coeff. angolare  $b=V_0/P_0$ .
- La opzione "Interpolazione" del software permette di ricavare rapidamente  $b$ .
- **Verificare** l'accordo fra il valore di  $V_0$  ricavato da  $b$  e quello ottenibile con una misura diretta.
- Per una analisi piu' accurata, esportare le tabelle dati in formato testo, importarle su Origin, e ricavare  $b$  con un fit lineare.
- **Ulteriore verifica:** da  $V_0$  (ricavato da  $b$ ),  $P_0$ ,  $T_0$  si ricava  $n$  (considerando l'aria un gas perfetto, noto il valore di  $R$ ). Dal valore di  $V_0$  ottenibile con una misura diretta, si ricava un nuovo valore di  $n$ . Verificare l'accordo fra i due dati.



N.B.  $x_0$  (cioe'  $V_0$ ) assunto come 0  $\Rightarrow \Delta V = V - V_0$   
 $P_0$  assunto come 0  $\Rightarrow \Delta P = P - P_0$  misurata

## Esperienza B : Verifica della legge di Gay-Lussac (isocora)

Legge di Gay-Lussac: a  $V=\text{cost}$  e dato  $n$ ,  $P=\text{cost}$  T

Per un gas perfetto, se  $V=\text{cost}$ :  $P = (nR/V)T$ , da cui:  $\Delta P = (nR/V)\Delta T$ .

Non si usa il sistema pistone-cilindro (possibili perdite possono causare variazioni di  $n$ ), ma la camera di espansione con tappo in gomma che garantisce una buona tenuta,

- .1. in un buco del tappo inserire il termometro e collegarlo all'interfaccia attraverso l'altro buco, collegare il sensore di bassa pressione.
- .2. Immergere la camera nell'acqua contenuta all'interno del termos  
**N.B. l'acqua non deve arrivare al tappo**
- .3. Predisporre lettura P vs T
- .4. Dopo aver verificato che il sistema stia in equilibrio (T e P costanti), cominciare a riscaldare l'acqua per mezzo della resistenza collegata al generatore di tensione  
**N.B. La resistenza per riscaldare acqua non deve essere mai tirata fuori dall'acqua mentre è alimentata!**

L'acqua si scalda (lentamente) => l'aria nella camera si scalda (lentamente) => la pressione aumenta.

.5 Ricavare l'andamento di P vs T.

N.B.  $P_0$  assunto come 0 =>  $\Delta P=P$  misurata. Grafici  $\Delta P$  vs  $\Delta T$  o P vs T (misurato direttamente) sono equivalenti.

Discutere andamento P(T), e determinare **se e quando** si ha un andamento lineare.

Se/quando si ha un andamento lineare, ricavare il coeff angolare  $b=nR/V$  utilizzando la opzione "Interpolazione" del software.

### **Verifiche:**

- .- stimare il volume V occupato dall'aria nella camera con misure dirette:
- .- ricavare il valore di n in base al volume occupato dal gas, il valore di n ottenibile da **b**, e verificare l'accordo fra i due dati.

N.B. cosa succede se la camera viene immersa in acqua calda? (invece che scaldarla lentamente con la resistenza?)

.- Per una analisi piu' accurata, esportare le tabelle dati in formato testo, importarle su Origin, ricavare **b** con un fit lineare, .....