

Termodinamica e Laboratorio

Esperienze 2-3

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).

Le misure caratteristiche del sistema sono:

Diametro del pistone: $= (32.5 \pm 0.1) \text{ mm}$

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

Avvertenze generali per l'utilizzo del 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)

Sensore di pressione assoluta da 0 (cioè pressione atmosferica) a 10 kPa, cioè 0.1 atm, con sensibilità = 0.005 kPa ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$). Il sensore va calibrato (un punto): $1 \text{ atm} \Rightarrow 0$

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 click 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 e quindi usare i dati per ricavare b con un fit lineare (calcolando il chi-quadro ed eventualmente anche il coefficiente di correlazione).

0 - Costante di tempo del termometro (facoltativo)

- 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 più accurata, esportare le tabelle dati in formato testo, importarle su Origin, linearizzare i dati, e ricavare con un fit lineare.

1- Verifica della legge di Boyle (trasformazione isoterma)

La legge di Boyle afferma che il prodotto tra la pressione e il volume occupato da n moli di un gas perfetto, a temperatura costante T (espressa in **K**), è costante: $PV = nRT$, dove **$R = 8.31 \text{ J/(moli} \cdot \text{K)}$** 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 :

$$V = nRT/P \approx nRT/P_0 \left[1 - (P - P_0)/P_0 \right] = nRT/P_0 \left[1 - (P/P_0 - 1) \right],$$

da cui utilizzando $V_0 = nRT/P_0$ e ponendo $\Delta P = P - P_0$, si ottiene:

$$\Delta V = - (V_0 / P_0) \cdot \Delta P$$

(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 è 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:

1. Esercitando con la mano una leggera pressione (lenta e continua) per comprimere il pistone, ricavare l'andamento x ($\Rightarrow V$) vs P scegliendo una frequenza di campionamento adeguata.
2. I dati raccolti si dispongono (dovrebbero disporsi) su una retta di coeff. angolare $b = V_0/P_0$.
3. La opzione "Interpolazione" del software permette di ricavare rapidamente b .
4. **Verificare** l'accordo fra il valore di V_0 ricavato da b e quello ottenibile con una misura diretta.
5. Per una analisi più accurata, esportare le tabelle dati in formato testo, importarle su Origin, e ricavare b con un fit lineare.
6. **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.

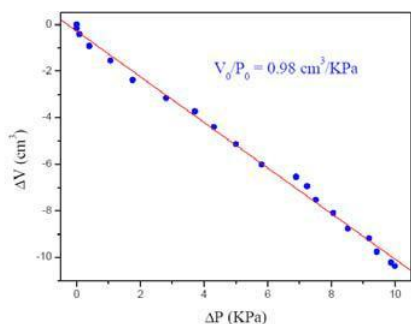


Fig1: Variazione del volume occupato dal gas in funzione dell'incremento di pressione ($T = \text{costante}$).

N.B. x_0 (cioè V_0) assunto come 0 $\Rightarrow V = V_0 + \Delta V$
 P_0 assunto come 0 $\Rightarrow P = P_0 + \Delta P$

2 - Verifica della legge di Charles (trasformazione isobara)

Legge di Charles o I legge di Gay Lussac: n moli di un gas perfetto, a pressione P costante, occupano un volume V che varia in modo direttamente proporzionale alla sua temperatura assoluta T (espressa in K) come $V = (nR/P)T$, da cui:

$$\Delta V = (nR/P)\Delta T$$

La verifica di questa legge può essere effettuata utilizzando il sistema cilindro-pistone collegato alla camera di espansione piena d'aria. Questa viene immersa all'interno di un termos pieno d'acqua che viene a sua volta riscaldata da una resistenza percorsa da corrente.

PREPARAZIONE

1. Collegare il sistema cilindro-pistone con la camera, in cui è inserito il termometro, utilizzando un pezzo di tubo. La pressione che agisce sul sistema è quella atmosferica (costante, perché il pistone è libero di muoversi).
2. Immergere la camera nell'acqua contenuta all'interno del termos.
3. Predisporre lettura V vs T

PROCEDIMENTO

1. Riscaldare l'acqua per mezzo della resistenza collegata al generatore di tensione. L'acqua si scalda (lentamente) \Rightarrow l'aria nella camera si espande (lentamente) \Rightarrow aumenta il volume.
(N.B. La resistenza per riscaldare acqua non deve essere mai tirata fuori dall'acqua mentre è alimentata!)
2. Determinare le condizioni migliori per raccogliere dati V in un (limitato) intervallo di T .
3. Verificare l'andamento lineare e ricavare il coeff angolare nR/P , ricavare il valore di n (noto R) e confrontarlo con il valore calcolato dalla stima del volume totale occupato dal gas (volume del cilindro + tubi + connettori + camera).

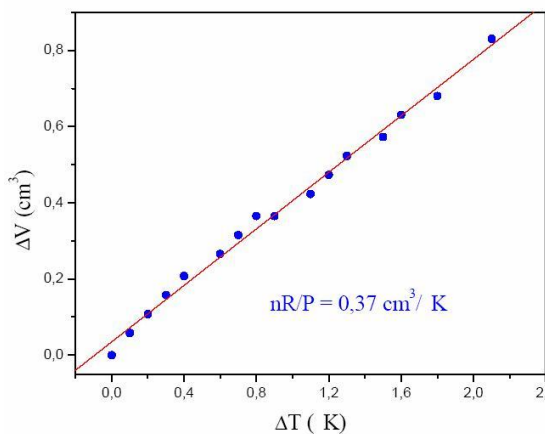


Fig. 3: Variazione del volume occupato dal gas in funzione dell'incremento di temperatura ($P=\text{costante}$).

N.B. x_0 (cioè V_0) assunto come 0. Grafici ΔV vs ΔT o V vs T (misurato direttamente) sono equivalenti.

3 - Verifica della legge di Gay-Lussac (trasformazione isocora)

La seconda legge di Gay-Lussac afferma che, se il volume V occupato da un gas perfetto viene mantenuto costante, la pressione P varia linearmente con la temperatura assoluta T (espressa in K): $P = (nR/V)T$, 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.

PREPARAZIONE

1. Inserire il termometro in un buco del tappo e il sensore di bassa pressione nell'altro buco, collegare i sensori all'interfaccia

PROCEDIMENTO

1. Immergere la camera nell'acqua contenuta all'interno del termos (**N.B. l'acqua non deve arrivare al tappo**)
2. Predisporsi lettura P vs T
3. 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. L'acqua si scalda (lentamente) \Rightarrow l'aria nella camera si scalda (lentamente) \Rightarrow la pressione aumenta. (**N.B. La resistenza per riscaldare acqua non deve essere mai tirata fuori dall'acqua mentre è alimentata!**)
4. Ricavare l'andamento di P vs T . (N.B. P_0 assunto come 0 \Rightarrow $^a P = P$ misurata. Grafici $^a P$ vs $^a T$ o P vs T (misurato direttamente) sono equivalenti.)
5. Discutere andamento $P(T)$, e determinare se e quando si ha un andamento lineare, ricavare il coeff angolare $b = nR/V$ utilizzando la opzione "Interpolazione" del software.
6. Stimando 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, errori e chi quadro.

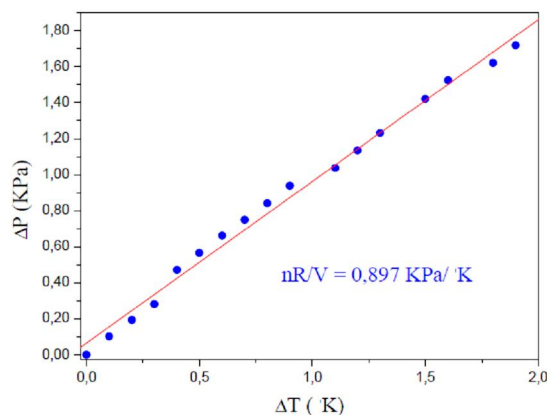


Fig1: Variazione del volume occupato dal gas in funzione dell'incremento di temperatura ($V = \text{costante}$)

4 - Trasformazione calore-lavoro: realizzazione di un ciclo termico

Sfruttando un ciclo a quattro stadi di compressione e di espansione, il sistema è in grado di sollevare piccole masse compiendo quindi un lavoro meccanico. In particolare è possibile verificare sperimentalmente che il lavoro effettuato per sollevare la massa **m** di un tratto verticale **h** è uguale al lavoro termodinamico netto prodotto durante un ciclo, valutato misurando l'area racchiusa dal ciclo in un diagramma pressione volume:

$$mgh = \oint_{\text{ciclo}} p dV$$

PREPARAZIONE

1. Collegare la camera all'apparato base con un tubo, chiudendola con il tappo.
2. Collegare il connettore libero al sensore di pressione e il piatto del pistone al sensore di posizione, per la misura di P vs V.
3. Posizionare il pistone a circa metà della corsa dal basso.
4. Preparare l'acqua contenuta in due termos a temperature differenti. Questi costituiranno le sorgenti **S₁** e **S₂**, necessarie per la realizzazione del ciclo.
5. Immergere la camera d'aria nel calorimetro a temperatura inferiore e attendere che il sistema si stabilizzi.

PROCEDIMENTO

- 1- Il sistema si trova in uno stato **V₁ ó P₁**, con il pistone alla quota **h₀**. Con la camera immersa nella sorgente **S₁**, appoggiare la massa **m** sul piatto del pistone: il sistema subisce una trasformazione fino allo stato **V₂ ó P₂**, con **V₂ ~ V₁** e **P₂ > P₁** (la trasformazione, a causa della velocità con cui avviene, può essere considerata adiabatica)
- 2- Mettere la camera a contatto con la sorgente **S₂**: l'aria scaldandosi si espande e la pressione rimane costante. La massa **m** si porta alla quota **h₀+h**, per cui il sistema passa allo stato **V₃ ó P₃**, con **V₃ > V₂** e **P₃ = P₂**.
- 3- Quando il sistema si è stabilizzato, rimuovere la massa: il sistema subisce una trasformazione fino allo stato **V₄ ó P₄**, con **V₄ ~ V₃** e **P₄ < P₃** (come in 2, la trasformazione, a causa della velocità con cui avviene, può essere considerata adiabatica)
- 4- Riportare la camera d'aria a contatto con **S₁**: il gas si contrae a pressione costante tornando allo stato iniziale.
- 5- Riportare su un diagramma **P-V** il ciclo così ottenuto e stimare l'area della regione racchiusa dal ciclo.
- 6- Ripetere l'esperimento con altre masse e sorgenti a diverse temperature.

Verifiche:

- .- verificare se l'area del ciclo corrisponde (in ogni esperimento) al lavoro **mgh**.
- .- discutere le eventuali discordanze sulla base delle caratteristiche del sistema.

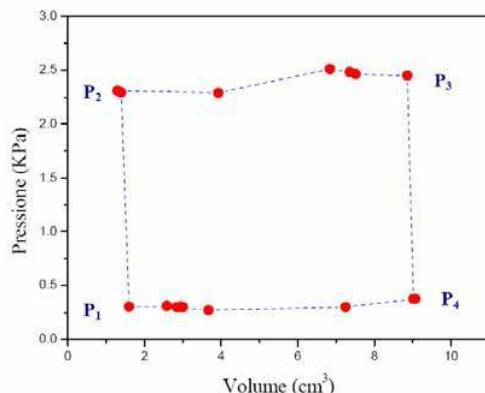


Fig. 4: Diagramma P-V della trasformazione ciclica ottenuta utilizzando le sorgenti **S₁** (**T₁** circa 5 °C) e **S₂** (**T₂** circa 85 °C)