

L'esponente adiabatico dell'aria

DETERMINAZIONE DELL'ESPONENTE ADIABATICO C_p/C_v DELL'ARIA SECONDO RÜCHARDT.

- Misurazione del periodo di oscillazione di un pistone in alluminio.
- Determinazione della pressione di equilibrio in un volume d'aria definito.
- Determinazione dell'esponente adiabatico dell'aria e confronto con il valore di letteratura.

UE2040200

03/15 UD

BASI GENERALI

In una disposizione classica secondo Rüchardt, l'esponente adiabatico dell'aria viene determinato a partire dalle oscillazioni verticali di un pistone inserito in un tubo di sezione costante su un volume d'aria chiuso in alto dal pistone stesso. Lo spostamento del pistone dalla posizione di riposo genera una sovrappressione o una depressione nel volume d'aria che respinge il pistone nella propria posizione di riposo. La forza respingente è proporzionale allo spostamento dalla posizione di riposo; il pistone oscilla pertanto in maniera armonica.

Non essendoci alcuno scambio di calore con l'ambiente, le oscillazioni sono legate ai cambiamenti adiabatici di stato. Fra la pressione p e il volume V dell'aria racchiusa esiste la relazione

$$(1) \quad p \cdot V^\gamma = \text{const.}$$

L'esponente adiabatico γ è il rapporto delle capacità termiche specifiche a pressione costante C_p e volume costante C_v :

$$(2) \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Da (1) si evince per le variazioni di pressione e volume Δp e ΔV

$$(3) \quad \Delta p + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot \Delta V = 0.$$

Inserendo la superficie trasversale interna A del tubo, dalla variazione di pressione si calcola la forza respingente ΔF e dalla variazione di volume lo spostamento Δs del pistone dalla posizione di riposo.

Si ottiene quindi

$$(4) \quad \Delta F = -\gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0$$

e infine, come equazione di moto del pistone oscillante,

$$(5) \quad m \cdot \frac{d^2 \Delta s}{dt^2} + \gamma \cdot \frac{p}{V} \cdot A^2 \cdot \Delta s = 0.$$

m : massa del pistone

Le soluzioni di questa classica equazione del moto di un oscillatore armonico sono oscillazioni con periodo

$$(6) \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{V}{p} \cdot \frac{m}{A^2}},$$

da cui, note le altre grandezze, è possibile ricavare il coefficiente adiabatico.

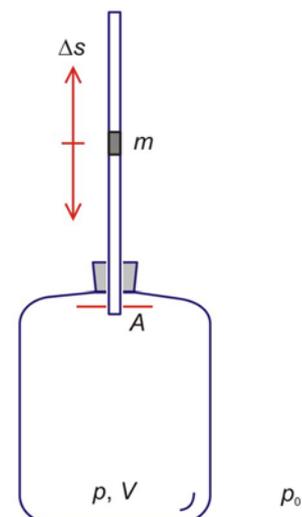


Fig. 1: Rappresentazione schematica della disposizione per la misurazione.

Nell'esperimento si inserisce perpendicolarmente un tubo di vetro di precisione di piccola sezione A nel tappo di gomma perforato di una bottiglia di vetro con un volume V facendo scorrere all'interno del tubo di vetro un cilindro di alluminio adatto di massa nota m con funzione di pistone. Il cilindro di alluminio produce oscillazioni armoniche sul cuscino d'aria creato dal volume d'aria definito. Dal periodo di oscillazione del cilindro di alluminio si ottiene l'esponente adiabatico.



Fig. 2: Disposizione per la misurazione.

ELENCO DEGLI STRUMENTI

| | | |
|---|-------------------------------|---------|
| 1 | bottiglia di Mariotte | 1002894 |
| 1 | tubo per oscillazioni | 1002895 |
| 1 | cronometro meccanico (15 min) | 1003369 |
| 1 | pompa manuale per vuoto | 1012856 |

Per la misurazione di pressione atmosferica esterna, diametro interno del tubo per oscillazioni e massa del cilindro di alluminio si consiglia inoltre:

| | | |
|---|---------------------------|---------|
| 1 | barometro aneroide F | 1010232 |
| 1 | calibro a corsoio, 150 mm | 1002601 |

- Una piccolissima deformazione del cilindro (ad es. causata da una caduta) ne compromette il funzionamento durante la misurazione.
- Il tubo per oscillazioni deve essere allineato in verticale.

1 bilancia elettronica 200 g

1003433

ESECUZIONE

- Determinare la pressione atmosferica, il diametro interno del tubo di oscillazione, la massa del cilindro di alluminio e il volume della bottiglia di Mariotte.
- Esercitando una leggera pressione, inserire uno dei due tappi di gomma conici del tubo per oscillazioni con il diametro maggiore nell'apertura conica del tappo in gomma della bottiglia di Mariotte. Ciò serve ad evitare che il cilindro di alluminio cada nella bottiglia.
- La bottiglia di Mariotte deve essere inoltre collocata su un tappetino di gomma o simile, per impedire un danneggiamento sia della bottiglia che del cilindro di alluminio qualora il cilindro dovesse tuttavia cadere nella bottiglia.
- Collocare il tubo per oscillazioni sulla bottiglia di Mariotte, allineare in verticale e fissare ad uno stativo.
- Collegare un foro del tubo flessibile lungo (850 mm, diametro interno 6,5 mm) fornito in dotazione con la pompa per vuoto manuale al rubinetto a 3 vie della bottiglia di Mariotte. Chiudere il rubinetto a 3 vie.
- Pulire il cilindro di alluminio con un panno che non lascia filaccia e un po' di benzina solvente e, a rubinetto chiuso, introdurlo e lasciarlo cadere in posizione non inclinata nel tubo per oscillazioni. Afferrare il cilindro di alluminio solo sull'impugnatura per evitare di imbrattarlo.
- Con il cronometro meccanico misurare il tempo necessario ad eseguire cinque oscillazioni. La misurazione del tempo deve iniziare quando il cilindro di alluminio viene frenato per la prima volta e si trova sul punto più profondo. Fermare la misurazione del tempo quando il cilindro di alluminio giunge per la sesta volta nel punto più profondo.
- Aprire con cautela il rubinetto a 3 vie di modo che il cilindro di alluminio possa lentamente adagiarsi sul tappo di gomma sul fondo del tubo per oscillazioni.
- Tramite il tubo flessibile, collegare la pompa per vuoto manuale al rubinetto a 3 vie sulla bottiglia di Mariotte. A rubinetto aperto, pompare verso l'alto ed estrarre il cilindro di alluminio nel tubo per oscillazioni facendo attenzione che il cilindro non cada e non venga così danneggiato.
- Estrarre completamente il cilindro dal tubo per oscillazioni e ristabilire nel sistema la pressione atmosferica dominante. Richiudere il rubinetto a 3 vie e staccare la pompa per vuoto manuale dal tubo flessibile.
- Eseguire nove ulteriori misurazioni.

Nota importante: la qualità delle misurazioni dipende in larga misura dalle condizioni che seguono.

- Il tubo per oscillazioni deve essere estremamente pulito. Se necessario, pulirlo con carta seta.
- Ugualmente il cilindro di alluminio deve essere estremamente pulito. Anche le più piccole impurità, come i residui di grasso cutaneo, determinano un attrito elevato. Pertanto prima di ogni misurazione, pulire il cilindro con un panno che non lascia filaccia e un po' di benzina solvente.
- Tutti i tappi in gomma devono essere a tenuta d'aria.
- Il tempo deve essere rilevato con precisione poiché nell'equazione di misurazione (8) il periodo di oscillazione

viene assunto al quadrato (v. esempio di misurazione e analisi).

- Il diametro interno del tubo per oscillazioni deve essere misurato con estrema precisione poiché nell'equazione di misurazione (8) il raggio sulla superficie trasversale interna A viene assunto alla quarta potenza.

ESEMPIO DI MISURAZIONE E ANALISI

Pressione atmosferica esterna p_0 : 1018 mbar

Diametro interno d_i del tubo per oscillazioni: 16 mm

Massa m del cilindro di alluminio: 15,2 g

Volume V_0 della bottiglia di Mariotte: 10400 cm³

Durata T_5 di 5 periodi di oscillazione (10 misurazioni):

| | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5,172 s | 5,276 s | 5,259 s | 5,224 s | 5,305 s |
| 5,175 s | 5,231 s | 5,241 s | 5,191 s | 5,175 s |

Valore medio della durata T_5 riferito a 10 misurazioni: 5,225 s

Periodo di oscillazione T : 1,045 s

La pressione di equilibrio p si ricava dalla pressione atmosferica esterna p_0 e dalla pressione esercitata sull'aria racchiusa dal cilindro di alluminio a riposo:

$$(7) \quad p = p_0 + \frac{m \cdot g}{A}, \quad g: \text{accelerazione di gravità.}$$

Il volume di equilibrio V corrisponde al volume V_0 della bottiglia di Marriotte, poiché il volume del tubo per oscillazioni è trascurabile.

Per la determinazione dell'esponente adiabatico si ricava da (6):

$$(8) \quad \gamma = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{m}{A^2} \cdot \frac{V}{p} = 1,39 .$$

Il valore misurato coincide perfettamente con il valore teorico $\gamma = 7/5 = 1,4$ per una molecola di due atomi con 3 gradi di libertà traslazionale e 2 gradi di libertà rotazionale.

