

Produzione del vuoto e misura di masse molari

Relazione del gruppo 6 del martedì - Luca Giacomelli, Donato Romito e Francesca Sartori

Scopi dell'esperienza

Riprodurre il vuoto in un contenitore pieno di gas tramite due metodi differenti, pompa a mano e pompa meccanica, misurarne la pressione e studiarne l'andamento in funzione del numero di pompate nel primo caso e del tempo nel secondo caso. Misurare la massa molare dei gas contenuti nella bottiglia.

Materiale a disposizione

- Bottiglia con manometro
- Raccorderia
- Manometro ad U a mercurio
- Pompa a mano e pompa meccanica
- Valvola a spillo
- Bilancia

Procedura di misura

Prima di iniziare l'esperienza vera e propria abbiamo calcolato il volume della bottiglia da noi usata: un gruppo si è incaricato di riempire d'acqua una bottiglia identica a quelle da noi usate, per poi misurare il peso dell'acqua; conoscendo la densità dell'acqua ed il suo peso, abbiamo ricavato il volume da essa occupato (pari al volume interno della bottiglia). Abbiamo anche raccolto i dati di temperatura (tramite un termometro) e pressione atmosferica (tramite un manometro ad U) presenti nel laboratorio. Fatto ciò, abbiamo collegato la bottiglia al manometro ad U ed alla pompa a mano e, tramite quest'ultima, abbiamo svuotato il volume d'aria presente dentro la bottiglia. Durante questa procedura abbiamo raccolto svariati dati della pressione presente all'interno della bottiglia (misurata grazie ad un manometro ad U) in funzione del numero di pompate eseguite con la pompa a mano. Abbiamo deciso di smettere di pompare quando la variazione di pressione causata da un centinaio di pompate era inferiore alla risoluzione del barometro. Abbiamo quindi pesato la bottiglia. Dopo di che abbiamo inserito dell'elio, finché la pressione interna è arrivata circa a $3 \cdot 10^5 Pa$ ed abbiamo ripesato la bottiglia. Tramite i dati acquisiti abbiamo calcolato il peso molare dell'elio.

In seguito abbiamo ripetuto lo svuotamento del volume d'aria presente nella bottiglia, questa volta tramite una pompa meccanica. Abbiamo deciso di riprendere tramite un video l'indicatore di pressione del manometro della bottiglia, in modo tale da poter successivamente ricavare dei dati della pressione interna in funzione del tempo. Abbiamo ripetuto la procedura precedente per ricavare il peso molare dell'elio.

La procedura tramite la pompa meccanica è stata ripetuta svariate volte, inserendo ogni volta un gas diverso (CO_2 , N_2 , aria atmosferica)

Analisi dati

La massa m_A dall'acqua usata per la misura del volume della bottiglia è $m_A = 2720 \pm 2$ g da cui, sapendo che la densità dell'acqua è $\rho_A = 1000 \frac{Kg}{m^3}$ e che la relazione con il volume è $V_A = \frac{m_A}{\rho_A}$, abbiamo ricavato il volume della bottiglia $V_B = V_A = (2.720 \pm 0.002) \cdot 10^{-3} m^3$.

I dati di temperatura e pressione atmosferica presenti nel laboratorio erano: $T = 293.0 \pm 0.3 K$ $P_{atm} = 96790 \pm 50 Pa$, valori poi utilizzati per ricavare le caratteristiche del nostro sistema.

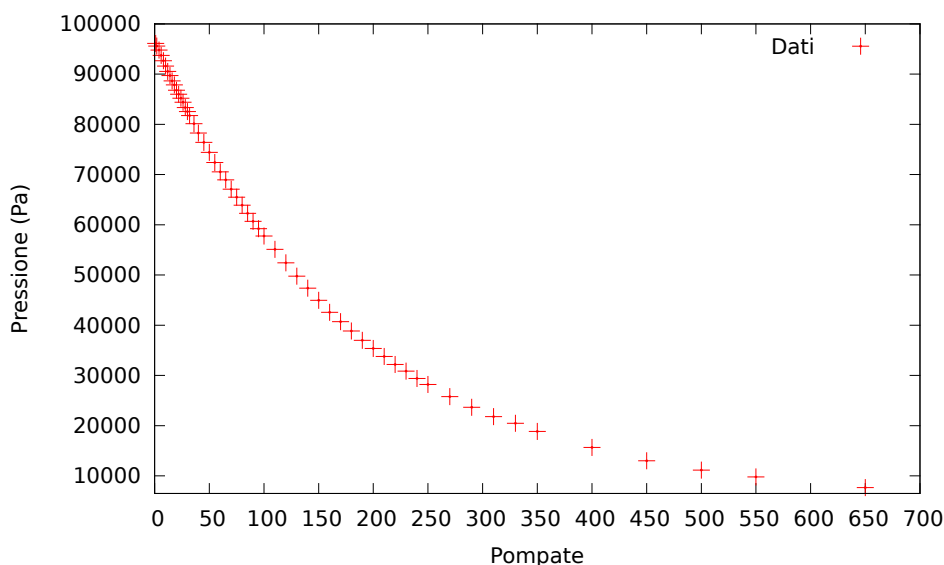


Figura 1: Dati di pressione interna della bottiglia in funzione del numero di pompe effettuate

Misure con la pompa a mano

Le variazioni di pressione sono state ricavate dalle corrispondenti variazioni di dislivello nel barometro a mercurio tramite la ben nota legge di Stevino: $P = P_0 - \rho gh$.

Riportiamo il grafico della pressione interna presente nella bottiglia in funzione del numero di pompe eseguite con la pompa a mano in cui non sono riportate le barre d'errore perché non apprezzabili.

Come si può osservare l'andamento della pressione è decrescente in modo sublineare e si giunge ad un punto in cui non è possibile diminuirla in modo apprezzabile. Ciò corrisponde ad un'impossibilità tecnica dello strumento a disposizione a scendere sotto determinati valori di pressione. Tale valore è risultato nel nostro vaso essere $(P = 7.67 \pm 0.08) \cdot 10^4 Pa$.

Dopo aver riempito la bottiglia d'elio ne abbiamo ricavato la massa molare tramite la seguente relazione $m_{mol} = \frac{(M_{Bp} - M_{Bv})RT}{PV}$ dove M_{Bp} e M_{Bv} sono rispettivamente la massa della bottiglia vuota e piena, V e P rispettivamente il volume e la pressione del sistema e T è la temperatura ambientale che è stata assunta essere anche quella del sistema. Questa relazione presuppone che l'elio si comporti come un gas ideale. Abbiamo ottenuto un valore pari a $3.8 \pm 0.2 \frac{g}{mol}$ che è compatibile con il dato teorico di $4 \frac{g}{mol}$. Come possiamo osservare il dato, seppur compatibile, presenta un valore centrale inferiore a quello teorico. Questo potrebbe essere dovuto, oltre a fluttuazioni statistiche, ad una sovrastima del valore di temperatura. Infatti abbiamo considerato la temperatura del gas nella bottiglia pari a quella ambientale senza però poter verificare se fosse avvenuta la termalizzazione. Infatti il gas era all'equilibrio termico con l'ambiente in una bombola a pressione maggiore e, espandendolo nella bottiglia, la sua temperatura è diminuita.

Misure con la pompa meccanica

Abbiamo ripetuto il precedente procedimento utilizzando però una pompa meccanica per ricavare il vuoto. Rispetto al precedente metodo abbiamo ottenuto un vuoto migliore e questo paragone è stato effettuato confrontando i pesi della bottiglia dopo lo svuotamento non potendo ottenere un valore preciso di pressione nel secondo caso a causa della scarsa precisione del manometro Bourdon montato sulla bottiglia. La massa della bottiglia vuota misurata dopo lo svuotamento a mano è $1561.10 \pm 0.03g$ mentre la misura dopo lo svuotamento con la pompa meccanica ha restituito il valore $1560.90 \pm 0.03g$; questo indica che con la seconda pompa è stato rimosso più gas. Riportiamo qui un grafico in cui è mostrato l'andamento della pressione in funzione del tempo.

Il grafico è simile al precedente in quanto si può notare una rapida diminuzione iniziale della pressione seguita poi da una stabilizzazione del suo valore. È opportuno però notare come il grafico risulti irregolare in alcuni punti. Questo può essere dovuto alla velocità con cui lo strumento realizza il vuoto che può causare una mancanza di uniformità di pressione. Questo può influire sia sulle misure effettuate dallo strumento, sia sulla regolarità del pompaggio.

Ripetendo la procedura di misura del peso molare dell'elio precedentemente effettuata abbiamo ottenuto il valore $4.1 \pm 0.2 \frac{g}{mol}$. Esso è compatibile e più vicino al teorico rispetto al precedente, questo è dovuto alla migliore qualità del vuoto ottenuto.

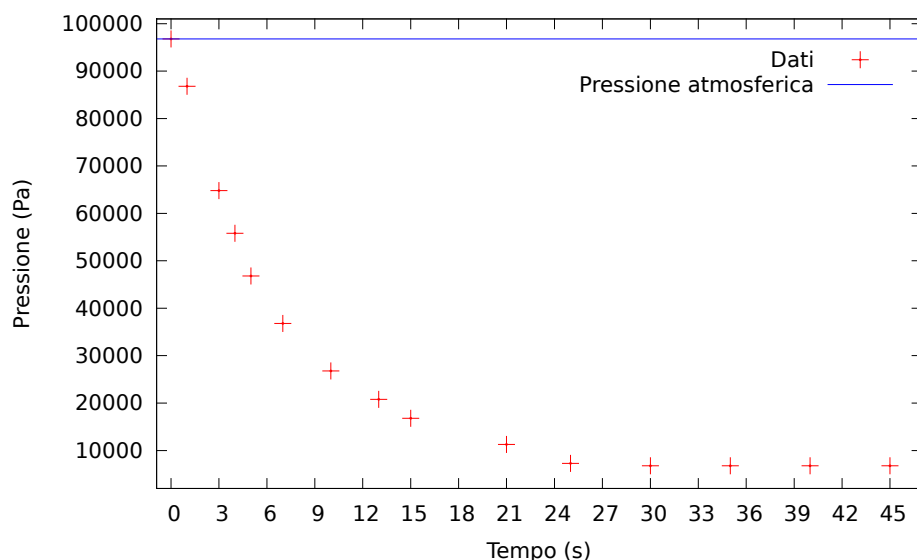


Figura 2: Dati di pressione interna della bottiglia in funzione del tempo di pompaggio

Misure relative ad altri gas

Abbiamo ripetuto il procedimento con la pompa meccanica riempiendo il contenitore con altri gas, rispettivamente CO_2 , aria atmosferica e N_2 . I valori ottenuti, confrontati con i rispettivi valori teorici, sono riportati in Tabella 1. È opportuno precisare che abbiamo considerato l'aria atmosferica composta per l'80% da azoto e per il 20% da ossigeno, trascurando la presenza di altri gas. Tutti i gas sono stati approssimati a gas ideali.

Tabella 1:

Gas	Massa molare calcolata ($\frac{g}{mol}$)	Massa molare teorica ($\frac{g}{mol}$)
Aria atmosferica	28.3 ± 0.3	28.8
Anidride carbonica	44.6 ± 0.3	44
Azoto	28.2 ± 0.3	28

Si può osservare che il valore relativo all'azoto risulta compatibile con quello teorico entro 1 sigma. Per gli altri due gas invece la compatibilità si ha entro 2 sigma. Per l'anidride carbonica questo si può giustificare considerando che questo gas risulta meno correttamente approssimabile ad un gas perfetto a queste condizioni di temperatura e pressione, anche in virtù della sua particolare configurazione spaziale. Per quanto riguarda l'aria atmosferica invece il valore è più basso di quello atteso probabilmente per la presenza di composti più leggeri in essa. Il composto leggero presente nell'aria atmosferica in quantità rilevanti è solitamente vapore acqueo (peso molare 18 g) quindi si può attribuire questo scarto rispetto al valore teorico all'umidità dell'aria.

Conclusioni

Lo studio dell'andamento della pressione durante il lavoro delle pompe ha messo in luce i limiti di questi strumenti. Infatti la pressione diminuisce inizialmente in modo veloce mentre poi tende a non andare sotto un dato valore a cui si approssima asintoticamente. Questo perché ogni strumento di questo tipo ha un limite intrinseco di vuoto a cui può arrivare. Nel nostro caso la pompa a mano è risultata meno efficace di quella meccanica poiché ha un limite intrinseco di pressione più alto dell'altra.

Per quanto riguarda la parte di calcolo dei pesi molari la precisione dell'esperimento non è molto alta in quanto le misure fatte con il barometro Bourdon risultano piuttosto approssimative, con incertezze che probabilmente vanno oltre quella di risoluzione. Tuttavia i risultati sono abbastanza buoni e hanno comunque permesso di delineare in modo generico alcune caratteristiche dei gas utilizzati.