

DIPARTIMENTO DI CHIMICA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Gas ideali

Verifica della legge di Boyle e della legge di Graham

Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Laboratorio didattico di Chimica Generale e Inorganica

Esperienza di laboratorio



Scopo

L'esercitazione utilizzando gas diversi vi permetterà di verificare le leggi studiate per i gas ideali, di Boyle e di Graham, attraverso la misura della compressibilità di due gas, con comportamento prossimo a quello ideale, in condizioni isoterme, e delle velocità di effusione di diversi gas attraverso un foro sottile.

Metodo

Per la verifica della **Legge di Boyle** dovrete costruire i diagrammi isotermi volume (V) vs pressione (p) e (pV) vs p.

Per la verifica della **Legge di Graham** dovrete costruire il diagramma temperatura (t) vs radice quadrata della massa molare del gas effuso ($MW^{1/2}$)

Materiali

Materiali (a disposizione postazioni "legge di Boyle")

sostegno con due pinze e snodi	10 pesi da circa 1 Kg
siringa (volume:60-100 ml) con ago	tappo di gomma
piattello con asta	

Materiali (a disposizione postazioni "legge di Graham")

siringa (volume:60-100 ml) con ago	cronometro
tappo da siero	

Gas in bombola

Esafluoruro di zolfo (SF_6), MW 146,06 g mol ⁻¹	Argon (Ar), FW 39.948 g mol ⁻¹
Anidride carbonica(CO_2), MW 44.010 g mol ⁻¹	Azoto (N_2), MW 28.013 g mol ⁻¹
	Ossigeno(O_2), FW 15.994 g mol ⁻¹
	Elio (He), FW 4.0026 g mol ⁻¹

Durata

circa 2 ore



I parte: verifica della legge di Boyle

Procedura

Per prima cosa verificate con un assistente di laboratorio il montaggio della strumentazione.

Leggete la temperatura sul termometro di laboratorio.

Riempite la siringa con uno dei gas disponibili (i gas consigliati sono ossigeno, argon e/o azoto) superando di poco i 60 ml.

***Attenzione!** La siringa è caricata con il gas, a pistone completamente abbassato, introducendo delicatamente l'ago nella membrana di gomma collegata alla bombola (al centro). Quindi, lasciate che sia la pressione stessa del gas a spostare il pistone fino alla divisione corrispondente al volume massimo.*

Tornati alla vostra postazione, spingete il pistone della siringa fino ad avere un volume di gas esattamente uguale a 60 ml (V_0) e chiudete l'ago infilandolo delicatamente, con attenzione ma profondamente dentro un tappo di gomma (il foro di apertura dell'ago deve essere completamente all'interno del tappo).

Fissate la siringa in posizione verticale all'apposita pinza del sostegno con l'ago rivolto verso il basso. Lasciando libero il pistone, il gas nella siringa è a pressione atmosferica, p_0 , che può essere assunta come unitaria ($p_a = 1 \text{ atm}$) o, meglio, letta sul barometro, e il volume letto sulla scala graduata della siringa (posizione dell'apice inferiore dello stantuffo) indica il valore di partenza del volume del gas alla pressione atmosferica o, meglio a quella letta sul barometro (*annotarlo*).

Adattate il piattello con l'asta al pistone della siringa, facendo attenzione ad adagiarlo correttamente sul cerchio terminale del pistone e senza spostare l'asse verticale del sistema. Per evitare la caduta del piattello è necessario ancorarlo all'anello fissato al sostegno.

Lo stantuffo per effetto della forza applicata (valutabile dal peso del piattello e dell'asta, annotato sotto di esso, W_1) scende fino al raggiungimento di una nuova posizione di equilibrio, la posizione dell'apice inferiore dello stantuffo della siringa



indica il valore del volume (V_1) al nuovo equilibrio. *Registrate il volume corrispondente alla pressione determinata dal peso che grava.*

La massa dei piattelli è annotata su di essi.

Attenzione! *Per misurare i volumi, attendete qualche secondo dopo l'aggiunta del peso per permettere al sistema di equilibrarsi alla nuova pressione. Approssimate il volume letto alla mezza divisione più vicina (es. 43.5 ml e non 43.7 o 43.4 ml).*

Procedete applicando di volta in volta un piattello in più, *registrandone il peso (W_x)*, aspettando il raggiungimento dell'equilibrio e *annotando il corrispondente valore del volume (V_x)*.

Terminata l'aggiunta di tutti i piattelli e riportati in tabella i volumi corrispondenti ad ogni aggiunta di peso (serie di misure "in discesa", dello stantuffo), eseguite una seconda serie di osservazioni, togliendo uno ad uno i piattelli e registrando i volumi di ogni nuova posizione di equilibrio (serie di misure "in salita").

I volumi corrispondenti a uno stesso peso nelle due serie di osservazioni possono non essere uguali per via dell'attrito che tende a fermare il pistone prima del raggiungimento della posizione teorica di equilibrio: il volume letto "in discesa" è, generalmente, più alto del volume teorico e il volume letto "in salita" è, generalmente, più basso del volume teorico. Una stima attendibile del volume teorico di equilibrio è quindi la media dei due valori.

Calcoli matematici e costruzione dei diagrammi

Per prima cosa calcolate il valore della pressione corrispondente ad ogni peso che avete fatto gravare sul pistone:

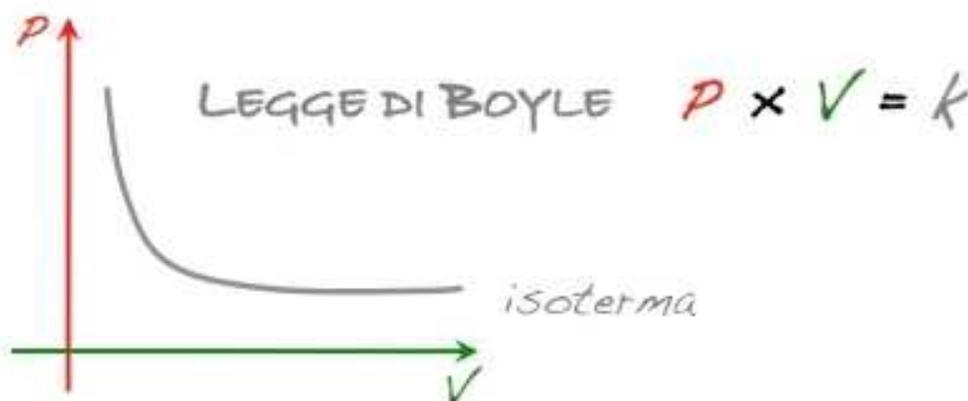
$$p_x = p_0 + \frac{\sum_{i=0}^x w_i}{1.033 \cdot (\pi r^2)} = p_0 + 0.968 \frac{\sum_{i=0}^x w_i}{(\pi r^2)}$$

in cui in cui p_0 è la pressione iniziale, atmosferica (misurata dal barometro o posta pari ad 1 atm), w_i è la massa in kg dei singoli piattelli aggiunti (la sommatoria rappresenta, quindi, il peso complessivo applicato!), (πr^2) è l'area della base del



piattello (r è il suo raggio in cm). Avendo misurato i pesi in kg e l'area in cm^2 , la pressione che grava sui piattelli è in kg cm^2 , quindi è necessario utilizzare il fattore di conversione $(1.033)^{-1}$ o 0.968 per trasformarla in atm.

Dopo aver eseguito i calcoli per ogni osservazione annotata, riportate tutti i valori in una tabella p vs V (potete riportare la serie di misure "in discesa", quella "in salita" e la media delle due serie) e costruite il vostro grafico isoterma (alla temperatura di misura – del laboratorio al momento delle misure) riportando in ascissa la pressione esercitata e in ordinate il volume corrispondente del gas nella siringa.



Osservazioni

Il vostro grafico dovrebbe verificare esattamente la legge di Boyle, nonostante l'esperimento non sia stato effettuato in condizioni ideali. Una delle cause di non idealità è proprio l'attrito tra il pistone e le pareti della siringa, che rallenta il pistone. Per questo motivo, i dati dei volumi presi "in salita" (diminuzione di peso) non coincidono con quelli ottenuti "in discesa" (dopo l'aggiunta dei piattelli).



Il parte: verifica della legge di Graham

La velocità con cui un gas fuoriesce da un foro di piccole dimensioni è inversamente proporzionale alla radice quadrata del suo peso molecolare. Essendo la velocità inversamente proporzionale al tempo impiegato dal gas per uscire, la legge di Graham può essere data, in forma equivalente, affermando che il tempo impiegato da un gas per diffondere attraverso un foro di piccole dimensioni è direttamente proporzionale alla radice quadrata del suo peso molecolare.

Procedura

La velocità di effusione del gas la determinerete dal tempo, misurato mediante il cronometro, impiegato dal pistone a percorrere lo spazio compreso tra due determinate divisioni della scala della siringa. Dovrete eseguire la misura del tempo con un'accuratezza non inferiore ad 1/10 di secondo e dovrete ripeterla almeno due-tre volte. La stima attendibile del tempo di effusione sarà la media dei due-tre valori misurati!

Per prima cosa, quindi, provate il funzionamento del cronometro più volte fino a essere sicuri della vostra manualità.

La scelta della variazione di volume da cronometrare è molto importante: la misura del tempo di effusione va eseguita in condizioni di velocità di avanzamento del pistone costante (che si verifica dopo qualche secondo dall'inizio a causa dell'attrito e dell'inerzia). Per cui **le due divisioni scelte per la misura non dovranno comprendere i primi e gli ultimi 10 cm³ di gas**. Se la siringa è da 60 ml, ad esempio, potrete cronometrare lo spostamento da 50 a 10 ml.

Quindi, decidete il range di volume che volete misurare (consigliato tra 50 e 20 ml o 40 e 10 ml).



Fissate il tappo di gomma auto-sigillante ribaltabile (tappo da siero) al tubo di gomma terminale della pompa da vuoto ad acqua. Aprite il getto d'acqua della pompa al massimo e non



variatene la portata per tutta la durata delle misure!

Riempite la siringa con uno dei gas (è opportuno partire dal gas più “pesante”, maggiore massa molare, per finire con quello più “leggero”, ricordando che dovrete effettuare misure con tutti i gas disponibili) fino a 60 ml.

***Attenzione!** La siringa è caricata con il gas, a pistone completamente abbassato, introducendo delicatamente l'ago nella membrana di gomma collegata alla bombola (al centro). Quindi, lasciate che sia la pressione stessa del gas a spostare il pistone fino alla divisione corrispondente al volume massimo.*

Tornati alla vostra postazione, senza azzerare il pistone della siringa al volume di partenza, infilate l'ago delicatamente, con attenzione ma con decisione al centro del tappo da siero. Il pistone inizierà a muoversi raggiungendo rapidamente una velocità costante e, voi cronometrerete il tempo di effusione tra le due divisioni scelte (sempre *le stesse per tutte le misure e per tutti i gas misurati*).

***Attenzione!** Non deformate l'ago della siringa inserendolo nel tappo da siero: la geometria del foro di effusione deve essere costante per tutta l'esperienza.*

Calcoli matematici e costruzione dei diagrammi

Dopo aver eseguito la misura del tempo di effusione per tutti i gas disponibili, riportate in una tabella i valori di t (tempo di effusione medio) vs \sqrt{MW} (radice quadrata della massa molecolare) del gas corrispondente, e costruite il vostro grafico riportando in ascissa la radice quadrata della massa molecolare e in ordinata il tempo di effusione medio.



Osservazioni

Osservando il vostro grafico dovrebbe essere evidente che il tempo che impiega un gas a diffondere è proporzionale alla radice della massa molecolare, ma noterete anche che la retta non passa per l'origine, come sarebbe prevedibile dalla legge di Graham, $t = k MW^{1/2}$: tempo di effusione nullo per un ipotetico gas infinitamente leggero. Questo avviene a causa dell'attrito che esercita il pistone sulle pareti della siringa: non permettendo l'attrito un facile scorrimento, si ottiene un tempo maggiore di quello ideale.



approfondimento: **pompa da vuoto a getto d'acqua**



La pompa a getto d'acqua, inventata da R.W. Bunsen, è basata sull'effetto Venturi, cioè sulla riduzione di pressione di un liquido quando percorre un tubo con una strozzatura.

È una semplice apparecchiatura in plastica, vetro o metallo, consistente essenzialmente di un tubo con una forte restrizione.

Il passaggio dell'acqua (proveniente da un normale rubinetto alla sua massima portata) nella strozzatura, per effetto Venturi, determina un aumento di velocità dell'acqua stessa e una conseguente diminuzione di pressione che aspira l'aria contenuta nella camera e da questa nell'uscita laterale. È così generata una

depressione (vuoto) che tramite un codolo e un tubo di gomma da vuoto (tubo a pareti più spesse per evitare che collassi su se stesso per depressione) viene portato all'apparecchiatura.

Quando viene impiegata una pompa a getto d'acqua è consigliabile inserire tra la pompa e l'apparecchio utilizzatore un "polmone", per impedire ritorni di acqua nell'apparecchiatura sotto vuoto, qualora la pressione nella rete idrica venisse a diminuire. Questo polmone può essere costituito da una beuta o da una bottiglia da vuoto con rubinetto di sfiato (che è bene sia saldamente fissata con pinze e sostegni).

Per utilizzare il vuoto di una pompa ad acqua eseguire in ordine le seguenti operazioni:

1. aprire il rubinetto principale dell'acqua fino in fondo;
2. aprire il rubinetto del polmone;
3. collegare il tubo di gomma da vuoto che esce dal polmone con l'apparecchiatura;
4. chiudere il rubinetto di sfiato: tutta l'apparecchiatura è così chiusa e la pompa genera il vuoto in essa.



Terminate le operazioni da compiere (realizzazione del vuoto nel reattore, filtrazione, distillazione sotto vuoto, ecc.):

1. isolare il proprio sistema se necessario (per evitare il rientro di aria accidentale);
2. aprire il rubinetto di sfiato del polmone;
3. staccare la gomma da vuoto;
4. solo se tutti hanno completato la loro operazione sotto vuoto, chiudere il rubinetto dell'acqua; se l'acqua è chiusa senza aver sfiato il vuoto questo risucchierebbe acqua nel polmone di sicurezza.

Questo tipo di pompa richiede una pressione dell'acqua di circa $0.5 - 1 \text{ kgf cm}^2$ (atmosfere) e permette di realizzare una pressione limite di $20 - 25 \text{ Torr}$ ($0.02 - 0.03 \text{ atm}$). Il tempo necessario a raggiungere la pressione limite, ovviamente, dipende dalla capacità del recipiente.



Informazioni di sicurezza sui gas usati nell'esperienza

Tutti i gas utilizzati nell'esperienza, se manipolati secondo le normali procedure, sono non pericolosi.



- gas compressi.

Elio

È un gas nobile incolore e inodore; ha il più basso punto di ebollizione fra tutti gli elementi e può solidificare solo se sottoposto ad altissime pressioni. Si presenta come gas monoatomico ed è chimicamente inerte.

Pur non essendo tossico, se inalato in concentrazioni elevate può portare all'asfissia. Contenitori riempiti con elio gassoso a 5-10 K devono essere conservati come se contenessero elio liquido a causa dell'alto incremento di pressione che risulta dal riscaldamento del gas a temperatura ambiente. Se viene a contatto con altri corpi, l'elio liquido può produrre gravi ustioni da freddo a causa dell'immediato scambio di calore provocato dalla sua istantanea evaporazione.

Dal momento che la velocità del suono è inversamente proporzionale alla radice quadrata della massa molecolare, nell'elio si ha una velocità che è circa tre volte di quella nell'aria. L'altezza (o la frequenza fondamentale) di un suono prodotto da una cavità riempita da un gas è proporzionale alla velocità del suono in quel gas. Inalando dell'elio si innalza la frequenza di risonanza della laringe, rendendo la voce acuta e stridula. Al contrario, inalando gas dal peso molecolare più elevato come lo xenon o l'esafluoruro di zolfo si avrà l'effetto opposto.

Azoto

L'azoto molecolare (detto anche azoto biatomico o azoto diatomico o diazoto) allo stato puro si presenta sotto forma di gas incolore, inodore, insapore e inerte.

Ad alte pressioni parziali, raggiungibili con camere iperbariche o durante le immersioni subacquee, l'azoto si comporta come gas narcotico, ed è la causa principale della malattia da decompressione. Particolare attenzione va posta nell'utilizzo di tale gas nella forma liquida (azoto liquido). Le ustioni dovute al freddo non sono immediatamente avvertibili. I recipienti contenenti azoto liquido a contatto con l'aria tendono a rilasciare il liquido e contemporaneamente a condensare umidità, O_2 e acetilene al loro interno, formando in tal modo atmosfere ipossiche, (con scarsità di O_2) che in ambiente poco ventilato possono risultare fatali.

Ossigeno

L'ossigeno reagisce con tutti gli elementi, tranne i gas nobili, per formare composti



detti ossidi. La capacità di reazione, ovvero il livello di ossidazione, varia a seconda degli elementi.

Sebbene l'ossigeno non sia di per sé un gas infiammabile, esso favorisce la combustione, facendo sì che tutti i materiali infiammabili in aria possano bruciare molto più intensamente. Queste proprietà di combustione giustificano il suo utilizzo in molte applicazioni industriali.

Argon

L'argon è un elemento chimico estremamente stabile, inodore e insapore.

L'argon non è tossico per l'organismo. Tuttavia concentrazioni molto elevate di questo gas danno luogo a una sintomatologia asfittica, poiché non soddisfa la richiesta di ossigeno della respirazione. A causa del peso specifico dell'argon – che viene usato anche per estinguere incendi con il suo effetto "asfissiante" – questo gas tende a ristagnare negli ambienti, perciò lo stoccaggio di grandi quantità di argon è pericoloso in locali piccoli e chiusi, nel caso di eventuali perdite.

Anidride carbonica

L'anidride carbonica (nota anche come biossido di carbonio o più correttamente diossido di carbonio) è un ossido acido (anidride). È una sostanza fondamentale nei processi vitali delle piante e degli animali. È ritenuta uno dei principali gas serra presenti nell'atmosfera terrestre. È indispensabile per la vita e per la fotosintesi delle piante, ma è anche responsabile dell'aumento dell'effetto serra.

Esafluoruro di zolfo

L'esafluoruro di zolfo (SF_6) è un gas inerte, non pericoloso anche se è un gas serra, cioè contribuisce all'aumento dell'effetto serra.

Data la sua elevata densità l'esafluoruro di zolfo è usato come trucco magico per simulare la presenza di "acqua invisibile" sulla quale far galleggiare oggetti leggeri (ad esempio una barchetta di alluminio). Un altro effetto è la capacità dell' SF_6 di alterare la voce: inalando una piccola quantità del gas si ottiene una voce più profonda; tale comportamento è opposto a quello che si ottiene inalando elio che, essendo meno denso dell'aria, provoca aumento nell'altezza della voce.