

Gruppo 12

Masiero Tommaso - Matricola 2015778 - Email tommaso.masiero@studenti.unipd.it

Marchesini Davide - Matricola 2009840 - Email davide.marchesini@studenti.unipd.it

Toffoli Marco - Matricola 2000397 - Email marco.toffoli.2@studenti.unipd.it

Travali Davide - Matricola 2008630 - Email davide.travali@studenti.unipd.it

Data consegna relazione: 26/05/2021

Analisi delle trasformazioni isoterme di un gas in compressione ed espansione

1 Obiettivo dell'esperienza

L'obiettivo dell'esperienza consiste nella verifica sperimentale della legge dei gas perfetti tramite l'osservazione del comportamento di un gas mantenuto a temperatura costante grazie all'utilizzo di un vaso Dewar, e, successivamente, stimare il numero di moli contenute al suo interno.

Per fare questa analisi sono state effettuate misure di pressione, temperatura e volume durante trasformazioni isoterme in compressione ed espansione per diverse temperature. Inoltre abbiamo effettuato misure di verifica per alcune condizioni come l'isolamento del vaso, l'incertezza sulla temperatura e la reversibilità delle trasformazioni stesse.

2 Descrizione dell'apparato strumentale e della teoria di base dell'esperienza

Definiamo un gas ideale, un gas con le seguenti proprietà:

- le molecole che lo compongono sono puntiformi, quindi prive di volume;
- le molecole interagiscono tra loro e con le pareti del recipiente mediante urti perfettamente elastici, quindi non viene dissipata energia cinetica;
- le molecole non interagiscono tra loro se non per contatto;
- le molecole sono identiche tra loro e il loro moto è puramente casuale.

Un gas reale, come l'aria, si comporta come un gas ideale in condizioni di pressione sufficientemente bassa e temperatura sufficientemente alta, possiamo dunque considerare l'aria, che è il gas utilizzato durante l'esperienza, come un gas ideale e dunque applicare la legge dei gas perfetti:

$$PV = nRT \tag{1}$$

Dove:

P è la pressione del gas;

V è il volume occupato da esso;

n è il numero di moli;

R è la costante universale dei gas;

T è la temperatura.

L'approssimazione enunciata ci permette di poter utilizzare l'aria, che è un gas di facilissima gestione e reperibilità, per valutarne la validità e successivamente stimare il numero di moli contenute nello strumento utilizzato.

Nell'esperienza abbiamo usato un sistema isotermico, quindi a temperatura costante durante la presa dati, in modo tale da permetterci, impostando quest'ultima, di avere solo due variabili libere: il volume e la pressione.

Il metodo di misurazione consisteva nel prendere una quantità incognita di aria, diminuirne progressivamente il volume e misurare la variazione di pressione dovuta alla compressione. Successivamente, abbiamo effettuato il processo inverso aumentando il volume. L'intera procedura è stata effettuata a diverse temperature e in un sistema il più isotermico possibile.

Per assicurare la costanza della temperatura abbiamo utilizzato un vaso di Dewar, un contenitore cilindrico costituito da doppie pareti, interne ed esterne, tra le quali è presente il vuoto, allo scopo di garantirne l'isolamento termico.

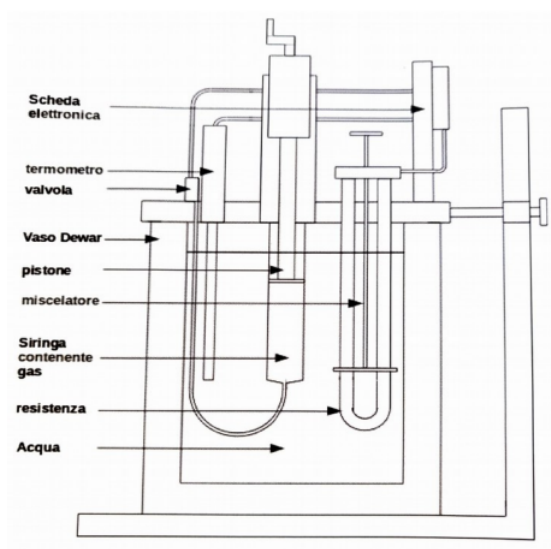


Figura 1: Schema approssimativo della strumentazione utilizzata.

Questo contenitore era munito di un termometro che misurava la temperatura del liquido all'interno, una resistenza per regolarla tramite effetto Joule e un agitatore meccanico con la funzione di disperdere il calore nel modo più omogeneo possibile all'interno del liquido. Non

era possibile diminuire la temperatura ma solo aumentarla, per questo le misure sono state effettuate con un certo ordine specifico; questa condizione non dovrebbe influire sui dati.

Il fluido contenuto dal vaso di Dewar, che nel nostro caso era acqua, aveva l'unico scopo di fungere da conduttore di calore per regolare la temperatura dell'aria contenuta in un altro recipiente immerso all'interno dello strumento stesso. Prima di effettuare la prima presa dati, vi era stato posto del ghiaccio all'interno, per poter iniziare vicini a $0[^\circ\text{C}]$.

La presa dati è stata effettuata grazie ad una scheda elettronica e ad un programma ad esso collegata che ci permetteva di regolare la temperatura iniziale.

Per modificare il volume, era presente una leva girevole che regolava l'altezza della parete superiore del cilindro nel quale era contenuta l'aria, con un apposito sensore che rilevava la pressione istantanea del gas. Le misure sono state effettuate con due diversi strumenti e da due gruppi diversi:

- il primo, che chiameremo G1, aveva il compito di studiare i possibili errori dai quali potevano essere affette le misure, come per esempio la dispersione di calore, la velocità della trasformazione, la precisione della resistenza regolatrice e altri aspetti che approfondiremo in seguito. Inoltre, questo gruppo ha preso alcune misure di isoterme ad alcune temperature particolarmente interessanti come a 19 gradi centigradi, temperatura della stanza, e 55 gradi centigradi, la temperatura che più si discostava da quella dell'ambiente e che di conseguenza poteva essere affetta con più probabilità da errori dovuti alla dispersione di calore.
- Il secondo gruppo, che chiamiamo G2, aveva invece il compito di misurare la variazione di pressione in compressione ed espansione del gas a diverse temperature prestabilite: 0, 15, 25, 35, 45, 55 gradi Celsius.

Le risoluzioni e le sensibilità degli strumenti utilizzati, tutti digitali, sono riassunte in tabella 1.

	Pressione	Volume	Temperatura
Risoluzione	$0.001 [\frac{kg}{dm^2}]$	$0.01 [cm^2]$	$0.001 [^\circ\text{C}]$
Sensibilità	$10^3 [\frac{dm^2}{kg}]$	$10^2 [cm^{-2}]$	$10^3 [^\circ\text{C}^{-1}]$

Tabella 1: Risoluzioni e sensibilità dei sensori di pressione, volume e temperatura

Per l'esperienza in questione le misure dirette consistevano in:

- pressione;
- volume;
- temperatura.

Mentre le misure indirette, ossia ciò che vogliamo stimare sono:

- numero di moli;
- temperatura allo zero assoluto;
- volume morto.

3 Regolazione del sistema e individuazione di possibili errori sistematici.

In questa sezione discuteremo le principali cause di errori sistematici che possono aver influito sui dati raccolti durante l'esperienza.

In particolare, l'apparato strumentale utilizzato, composto dal vaso dewar e dai vari sensori, presenta delle criticità soprattutto legate ai vari rilevatori e alla loro costruzione. Riteniamo che le principali cause d'errore siano dovute a:

Escursione termica. La strumentazione utilizzata durante l'esperienza permetteva di ridurre il più possibile il trasferimento di calore tra l'ambiente esterno e quello interno; tuttavia non garantiva un isolamento assoluto in quanto la parete superiore del Dewar era stata forata per permettere l'ingresso dei sensori e del sistema di mescolamento, di conseguenza un passaggio di calore tra i due ambienti era inevitabile. Questo effetto è tanto più trascurabile quanto la temperatura interna è simile a quella esterna.

Temperatura non uniforme del bagno termico. Come descritto nel paragrafo precedente, per portare il sistema in temperatura è stata utilizzata una resistenza metallica e una termocoppia, e, quando quest'ultima raggiungeva la temperatura desiderata, veniva interrotto il passaggio di corrente e la resistenza smetteva di scaldare. Questi due strumenti erano situati ai lati opposti del dewar, di conseguenza la temperatura del liquido nei pressi dei due strumenti poteva essere sensibilmente diversa. Per questo motivo, la resistenza fungeva anche da sistema di mescolamento in quanto sull'estremità di essa era presente un pistoncino che permetteva all'operatore di farle compiere delle oscillazioni verticali in modo da mettere in moto il liquido. Tuttavia, questo sistema di mescolamento non garantisce assolutamente che la temperatura sia uniforme in tutto il bagno termico, inoltre questo tipo di azione meccanica, seppur lievemente, scalda il liquido a causa della frizione con le molecole d'acqua. Questo fenomeno risulterà trascurabile molto probabilmente perchè risulta un fattore minimale in confronto alla sola dispersione di calore.

Siringa non perfettamente isolata Uno dei punti più critici dell'esperienza riguarda la siringa contenente il gas. L'esperienza si basa infatti sulle trasformazioni isoterme, ossia a temperatura costante. Tuttavia, con l'usura delle guarnizioni o con piccoli difetti da costruzione è possibile che ci sia del calore scambiato con l'esterno, modificando i parametri termodinamici supposti fissi per la misurazione. In particolare, per le misurazioni effettuate supponendo una temperatura stabile inferiore alla temperatura esterna, è possibile che ci sia stato un aumento di calore, mentre per le ultime misurazioni, ossia quelle a temperatura maggiore rispetto a quella esterna, ci può essere stato una diminuzione di temperatura nella siringa. L'entità di questi effetti si può osservare nell'analisi dati.

Software Utilizzando dei software digitali per la presa dati, è possibile che alcuni parametri per difetti di costruzione non risultino effettivamente quelli presenti all'interno dello strumento. Per ovviare a questo problema è utile ripetere le misure utilizzando un altro strumento. Infatti la presenza di errori nella misura dovuti al software sono impossibili da notare e non eliminabili a meno che non risultino rilevanti nell'analisi dati.

A seguito della stima degli eventuali errori presenti durante la presa dati, è possibile definire ripetibilità e riproducibilità di quest'ultima:

la ripetibilità riguarda il poter ripetere nelle medesime condizioni e con gli stessi operatori la presa dati. Dalla presenza degli errori prima dichiarati, però, risulta statisticamente probabile che, soprattutto per fuoriuscita di calore, la presa dati non abbia un elevato grado di ripetibilità.

La riproducibilità risulta invece maggiormente possibile della ripetibilità, infatti, per ovviare agli errori di escursione termica durante la presa dati, è consigliabile utilizzare due strumenti differenti, allo scopo di migliorare l'accuratezza della misura. Per fare questo, utilizzando due strumenti, è possibile individuare eventuali vasi di Dewar non perfettamente isolati.

4 Presentazione dei dati, analisi e presentazione dei risultati

La sezione di analisi dati è stata suddivisa in più paragrafi, ognuno dei quali fornisce la procedura per stimare un parametro di rilevanza.

4.1 Analisi temperatura in funzione del tempo

Per verificare la possibile presenza di errori sistematici legati alla variazione della temperatura durante la trasformazione, dovuti come detto precedentemente al non perfetto isolamento del vaso Dewar, abbiamo preso due set di misure: una a temperatura impostata a 0 °C e l'altra a 19 °C; per entrambe le misurazioni non è stata fatta compiere nessuna trasformazione al gas.

Di questi set abbiamo calcolato media e deviazione standard. Quest'ultima, se l'ipotesi secondo la quale le trasformazioni siano avvenute a temperatura costante fosse confermata, dovrebbe risultare nulla o al più simile alla risoluzione dello strumento.

Temperatura impostata [°C]	Temperatura media misurata[°C]	Dev Temperatura[°C]
0.00	0.790	0.00
19.00	19.34	0.07

Tabella 2: Temperatura media in gradi e relativa deviazione standard dei set di misure con variazione di volume nulla.

Si può osservare come nel primo caso la deviazione standard sia esattamente zero, questo ci permette di affermare che i valori delle temperature sono contenuti tutti nell'intervallo di risoluzione dello strumento. Questo è dovuto al fatto che ci troviamo intorno allo zero della scala Celsius, che rappresenta la temperatura nel quale tutto il calore in entrata veniva utilizzato per la trasformazione del ghiaccio in acqua. Risulta quindi che la presenza del ghiaccio funge da stabilizzatore della temperatura.

Nel secondo caso, il problema consiste molto probabilmente nel fatto che la misura è iniziata mentre il sistema non aveva ancora raggiunto l'equilibrio termico. In particolare, dopo lo spegnimento della resistenza, il software ha iniziato a raccogliere i dati quando la temperatura non era ancora uniforme in tutto il vaso Dewar. Questo tuttavia, è stato un fattore non sempre presente. Lo scopo di questo set di misure era appunto vedere il comportamento della temperatura subito dopo lo spegnimento della resistenza.

Come si osserva nel grafico 2 c'è un aumento della temperatura fino ad una stabilizzazione. Se consideriamo infatti, solo i dati oltre i 40 secondi e calcoliamo media e deviazione standard dalla media si ottiene 19.35 ± 0.05 gradi Celsius. Si può facilmente comprendere che un passaggio da 0.07 a 0.05 non è un forte miglioramento della precisione della nostra misura rispetto a quello che ci aspettavamo. Per ridurre tali effetti, durante le misure abbiamo sempre atteso un tempo sufficiente affinché la temperatura si stabilizzasse. Infatti in questo campione di misure questo periodo di pausa non è stato rispettato. Tuttavia, si nota dai grafici sottostanti come qualsiasi set sia stato influenzato da una temperatura non stabile. Come si nota in figura 3 l'errore commesso è stato minimo mentre per ?? inizia a divenire notevole. Risulta però impossibile eliminare queste problematiche perché sono oscillazioni puramente casuali dovuti a innumerevoli fattori che non sono di facile analisi. Possiamo limitarci ad affermare che per brevi tratti la temperatura viene descritta come nel caso analizzato precedentemente cioè dalla semplice media. Questi brevi tratti però non ci forniscono abbastanza dati per l'analisi che faremo successivamente. Per capire quanto i nostri dati siano influenzati da un tale fattore bisogna proseguire con l'analisi. La discussione verrà conclusa nella sezione finale.

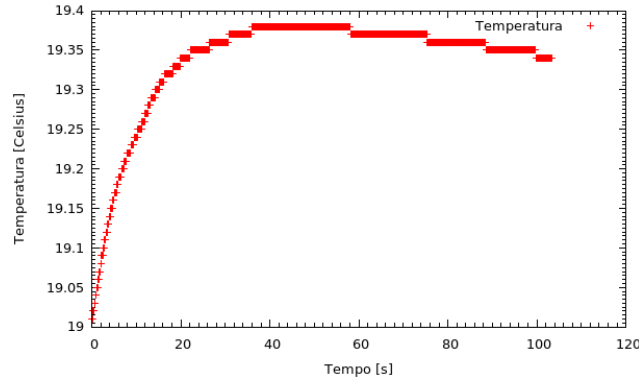


Figura 2: Andamento della temperatura in funzione del tempo in un intorno di 19 gradi, senza compressione o espansione del gas.

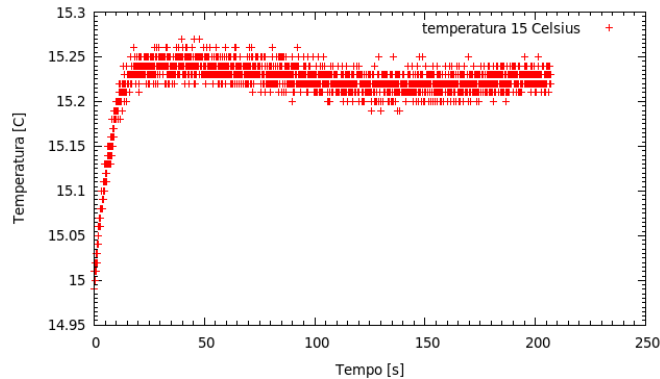


Figura 3: Andamento temperatura in funzione del tempo. si osserva che c'è una stabilizzazione all'avanzare del tempo ma permangono fluttuazioni statistiche.