

Tensione di vapore dell'acqua e equazione di Clausius-Clapeyron

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

Scopi dell'esperienza

Misurare la tensione di vapore dell'acqua al variare della temperatura tra $313K$ e $353K$ e dimostrare, grazie ai dati raccolti, la validità della legge di Clausius-Clapeyron. Determinare inoltre tramite tale legge un valor medio per il calore latente di evaporazione dell'acqua nell'intervallo di temperature in questione.

Materiale a disposizione

- acqua distillata e bollita per eliminare i gas disciolti
- ampolla con tappo ermetico dotato di tre uscite di cui una con rubinetto
- manometro Bourdon (risoluzione 5 kPa)
- termometro a dilatazione termica (risoluzione $1K$)
- riscaldatore con agitatore magnetico
- pompa rotativa con trappola criogenica

Procedura di misura

Abbiamo inserito circa $80ml$ di acqua demineralizzata e bollita nell'ampolla e abbiamo montato la nostra strumentazione su un sostegno ponendo l'ampolla stessa a bagnomaria all'interno di un becher pieno d'acqua posto sopra il riscaldatore. Il termometro è stato infilato nell'ampolla e il barometro è stato connesso tramite un tubicino a una delle uscite del tappo. Per evitare che il volume d'aria nel raccordo compromettesse le misure abbiamo aspirato con la pompa i gas presenti nell'ampolla, avendo cura di tenere fuori dall'acqua in fase liquida tale tubicino, che abbiamo poi immerso prima di riaprire il rubinetto dell'ampolla facendo rientrare aria a pressione atmosferica. Così facendo il tubicino e il manometro si sono riempiti d'acqua eliminando così volumi morti di gas e ottenendo una misura della pressione agente sulla superficie dell'acqua. Il barometro segnava a questo punto un valore di pressione inferiore rispetto a prima, questo per il peso della colonnina d'acqua nel tubicino (maggiore rispetto a quella dell'aria) e per il fatto che il barometro è tarato per funzionare con gas. Abbiamo dunque tenuto conto nelle successive elaborazioni di questo nuovo valore corrispondente alla pressione atmosferica. A questo punto abbiamo riscaldato il nostro sistema tramite bagno termico fino a una temperatura di $308K$ e abbiamo nuovamente rimosso con la pompa i gas atmosferici presenti nell'ampolla, questa volta per essere sicuri di non avere gas diversi dal vapore acqueo durante le misure (ovviamente nei limiti imposti dalla pompa e dalle guarnizioni del tappo). Durante il funzionamento alla pompa è stata collegata una trappola criogenica, consistente in una bottiglia immersa nel ghiaccio, utile per far condensare alcuni gas (in particolare vapor acqueo) permettendo di raggiungere un vuoto migliore.

Dopo quest'ultima operazione abbiamo fatto aumentare ulteriormente la temperatura del sistema. Per raccogliere le misure (coppie di dati di temperatura e pressione) abbiamo deciso di controllare la temperatura ogni volta che la pressione indicata sul barometro raggiungeva una posizione ben identificabile sulla scala, cioè ogni 5 kPa . In questo modo abbiamo raccolto 8 dati.

Analisi dati

L'influenza della temperatura sul valore della tensione di vapore è regolato (con opportune assunzioni semplificatrici) dalla seguente relazione detta *equazione di Clausius-Clapeyron*:

$$\ln(P) = \frac{\lambda}{R} \cdot \frac{1}{T} + C$$

dove P e T sono pressione del vapore e temperatura del sistema bifase, R è la costante dei gas, λ è il calore latente molare di evaporazione e C è una costante.

Per verificare tale relazione abbiamo cercato una legge che descrivesse l'andamento dei dati di noi raccolti e, in particolare abbiamo verificato l'esistenza di una relazione lineare tra $\ln(P)$ e gli inversi delle temperature $\frac{1}{T}$ effettuando una regressione lineare. Questa è stata eseguita con il metodo dei minimi quadrati tenendo conto degli errori sulle misure da noi raccolte e propagandoli e trasferendoli in maniera opportuna. Il risultato è stata una retta caratterizzata da pendenza $a = (-5200 \pm 600)K$ e intercetta $b = 26 \pm 2$. Di seguito riportiamo il grafico delle coppie di dati $(\frac{1}{T}, \ln(P))$ con le relative barre d'errore e la legge calcolata.

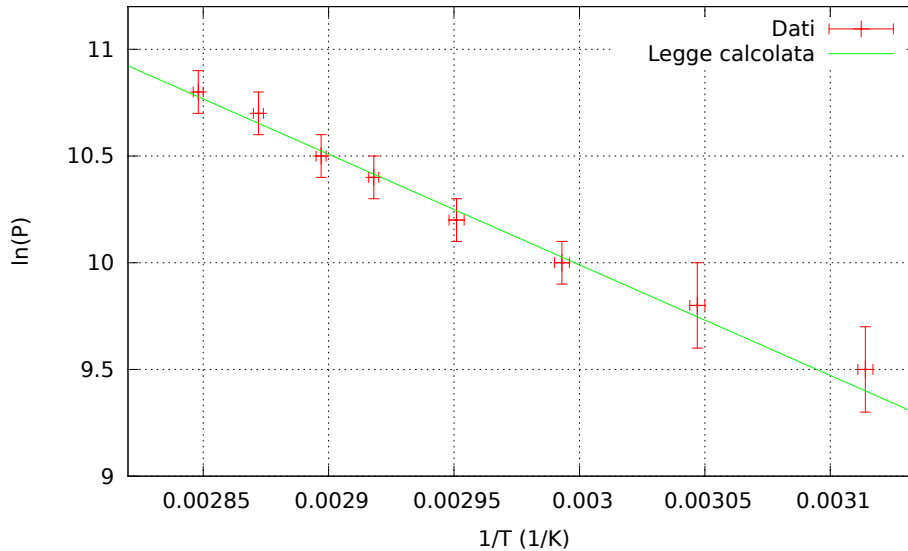


Figura 1: Logaritmo di P in funzione dell'inverso della temperatura. In verde la legge calcolata dai dati.

Come si può vedere la legge da noi trovata descrive abbastanza bene i nostri dati sperimentali, in parte anche grazie alle grandi incertezze, soprattutto a quelle sui dati relativi a temperature più basse. Questo fatto è ben descritto anche dal valore basso che ha restituito il test del chi quadrato: 1 contro un valore teorico di 6 ± 3 . La legge da noi trovata dunque descrive bene i nostri dati, seppur sia soggetta a grosse incertezze sperimentali. Essa può essere però comunque presa come prova della relazione lineare che lega il logaritmo della pressione e l'inverso della temperatura e dunque della proporzionalità presente nell'equazione di Clausius-Clapeyron.

Per completare la nostra verifica sperimentale di tale legge manca da controllare la costante di proporzionalità $\frac{\lambda}{R}$ tra le due quantità sopra citate. Per fare ciò abbiamo calcolato, a partire dalla legge trovata, un valore medio del calore latente di vaporizzazione, assumendolo costante nell'intervallo di temperatura da noi considerato, per poi confrontare tale valore con quelli riportati in letteratura. Abbiamo dunque moltiplicato la pendenza a della retta da noi calcolata per la costante dei gas R ottenendo il valore $\lambda = (43 \pm 5) \frac{kJ}{mol}$.

In realtà il calore di vaporizzazione non è costante con la temperatura e in letteratura sono riportati valori che variano da $44.15 \frac{kJ}{mol}$ a $293K$ a $40.60 \frac{kJ}{mol}$ a $373K$. Il valore medio da noi trovato è compreso tra questi due e copre tutto l'intervallo tra di essi grazie all'incertezza piuttosto alta.

Conclusioni

L'equazione di Clausius-Clapeyron risulta dunque verificata sperimentalmente, infatti abbiamo provato sia la proporzionalità tra $\ln(P)$ e $\frac{1}{T}$, sia la compatibilità della costante di proporzionalità con i valori teorici. È da notare che nella legge appare anche la costante additiva C che è tuttavia arbitraria e determinata da valori di temperatura e pressione usati come confronto per gli altri valori.

Inoltre il valore da noi trovato per il calore di vaporizzazione dell'acqua risulta cadere nell'intervallo dei valori teorici per temperature attorno a quelle da noi considerate, dunque possiamo concludere che l'esperimento, seppur svolto in modo abbastanza rudimentale, ha restituito buoni risultati.