

PRÀCTICA 13

CORBA D'EQUILIBRI LÍQUID-VAPOR D'AIGUA

OBJECTIUS

Observació de la variació de la temperatura d'ebullició de l'aigua amb la pressió. Determinació de la calor de vaporització de l'aigua a partir de la mesura de la seua pressió de vapor a distintes temperatures, entre 20 °C i 100 °C aproximadament.

MATERIAL NECESSARI

Dispositiu experimental ja acoblat que consta de:

- Matràs amb aigua (A)
- Manta calefactors (B) dotada de plataforma elevadora
- Termòmetre de resistència de Pt (C) que inclou sistema de regulació de temperatura
- Refrigerador de serpentin (D) i baló gran (J) que evita que el vapor condense en el manòmetre
- Manòmetre de mercuri (F) que mesura diferències de pressió respecte a la pressió atmosfèrica
- Tubs de connexió amb les seues claus de pas respectives
- Bomba de buit del tipus "trompa d'aigua"

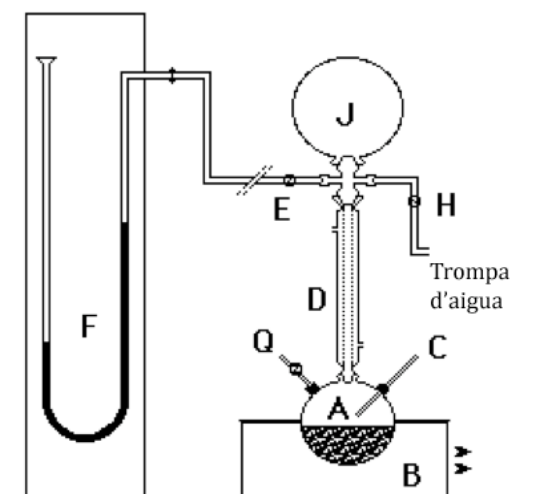


Figura 1. Dispositiu experimental.

INTRODUCCIÓ TEÒRICA

El pendent de la corba d'equilibri entre dues fases, corresponent al diagrama $p-T$, està donada per l'equació de Clausius-Clapeyron

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L_v}{T(v'' - v')} \quad (1)$$

on L_v és la calor latent (molar o específica) de canvi de fase, amb v'' i v' els volums (molars o específics) corresponents a les fases de vapor i líquid, respectivament.

En el cas de l'equilibri líquid-vapor que ens ocupa, la pressió d'equilibri p (pressió de la fase vapor en equilibri amb la fase líquida) s'anomena pressió de vapor. Si v'' representa el volum molar del vapor, aleshores $v'' \gg v'$ i $v'' - v' \approx v''$. Considerant a més el vapor com a gas ideal, $v'' = RT/p$, i s'obté:

$$\frac{dp}{p} = \frac{L_v}{RT^2} dT \quad (2)$$

equació que, integrada admetent L_v com a constant en l'interval de temperatures considerat, condueix a

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{L_v}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (3)$$

on p és la pressió del vapor d'aigua corresponent a la temperatura T .

L'expressió anterior permet calcular la calor de vaporització L_v corresponent a un xicotet interval de temperatures. La calor de vaporització de l'aigua depèn de la temperatura: a 0 °C val 598 cal/g i a 100 °C és 540 cal/g. Aproximadament es compleix que

$$L_v(\text{cal/g}) = 598 - 0.52t(^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

PROCEDIMENT EXPERIMENTAL

El muntatge que cal fer servir es mostra en la Fig. 1. Si a pressió constant es subministra calor a un sistema líquid + vapor d'aigua + aire la temperatura creix mentre que s'elimina inicialment l'aire dissolt en el líquid en forma de bombolles. Posteriorment, la temperatura roman constant creant bombolles d'aigua pura en ebullició que ha de ser viva. La pressió de vapor d'aquestes bombolles és la mateixa del sistema aire + vapor de la fase gasosa, que mesurarem mitjançant el manòmetre de mercuri. La pressió es canvia (mitjançant la clau Q) admetent entre cada mesurament una petita quantitat d'aire a l'interior de l'aparell. En este cas, la temperatura a mesurar ha de ser la de l'aigua, o la del vapor molt pròxim a les bombolles que es trenquen.

S'obri la clau H i es connecta la trompa d'aigua, havent comprovat que les claus de pas estan en la posició correcta. Fet el buit, desconnectem la trompa i tanquem la clau H. Comprovem ara si hi ha pèrdues: després d'alguns minuts no hi ha d'haver variació en la diferència d'altures de les branques manomètriques. Connectem novament la trompa fins a establir, per al primer assaig, la menor pressió possible (uns 20 mm Hg). Des d'un principi mantindrem obert el circuit de refrigeració per evitar que es condense aigua en el manòmetre.

Una vegada estabilitzada la temperatura d'ebullició, l'anotarem, com també la pressió a què s'ha realitzat l'experiència. S'ha de tenir en compte que la pressió que marca el manòmetre F és diferencial (diferència de pressions entre l'atmosfera i la que hi ha a l'interior de l'aparell). Per tant, per calcular la pressió que hi ha a l'interior de l'aparell, la diferència d'altura entre les dues branques del manòmetre es restarà de la pressió atmosfèrica, que es llegirà al baròmetre del laboratori i es corregirà per l'efecte de temperatura.

Una vegada tenim la primera dada, augmentarem la pressió en un 1 cm Hg aprox. sobre l'assaig anterior, obrint una mica la clau Q. Després d'això, tornem a repetir l'operació anterior, i anotarem novament les dades de pressió i temperatura d'ebullició.

Per augmentar la temperatura es connecta la manta calefactora. (No toqueu el botó marcat amb una **T**: no té cap aplicació per a la pràctica, sinó sobre el funcionament intern.)

S'ha d'esperar fins a que l'aigua assolisca l'ebullició en reflux; és a dir, el líquid bull i l'acció de l'aigua freda que circula per la camisa de refrigeració D fa que condense i torne a A, assolint-se un estat estacionari. A l'interior de A, i per tal que l'ebullició no siga brusca, hem col·locat uns trossos de ceràmica perfectament nets; observarem un continu bombolleig dins del líquid problema quan s'arriba a l'ebullició.

Pren nota de nou dels valors de pressió i temperatura; repeteix tot el procés fins a assolir la pressió atmosfèrica (cada vegada, es pot incrementar la pressió en una quantitat lleugerament major que la mesurada immediatament abans). Així, s'obtindran diferents parells de dades de temperatura del vapor i pressió de vapor en equilibri que, emprats conjuntament amb l'eq. (3), permetran obtenir el valor del calor de vaporització L_v en diferents intervals de temperatura.

Observacions

- ✓ Una vegada acabada la pràctica, baixeu el calefactor mitjançant la plataforma de suport per tal de facilitar que es refrede el líquid per a la propera sessió.
- ✓ A l'hora de fer cada mesura, cal esperar el temps suficient perquè s'arribe a l'estat estacionari: la temperatura es manté constant.
- ✓ S'ha d'evitar que hi haja flux de vapor cap al baló J, cosa que s'aconsegueix, si cal, augmentant el flux d'aigua al circuit de refrigeració o disminuint la potència de calefacció.
- ✓ Abans d'accionar la trompa d'aigua per fer-hi el buit, heu d'obrir la clau de pas senyalitzada amb la lletra H. Una vegada fet el buit, desconnecteu la trompa i tanqueu a continuació la clau H.

Precaucions

- ✓ Amb els aparells elèctrics connectats a la xarxa: per tal d'evitar accidents per electrocució, no en toqueu les parts metàl·liques amb les mans humides o mullades.
- ✓ Eviteu contactes amb amb les parts del muntatge experimental a alta temperatura que poden provocar cremades (manta elèctrica, matràs d'ebullició, etc.).

PRESENTACIÓ DE RESULTATS

(a) Taula amb tres columnes: temperatura $t(^{\circ}C)$, pressió de vapor experimental, p , i pressió de vapor de la taula, p_{tau} , ambdós en mm Hg. Comentaris comparatius.

(b) Gràfica $\ln p$ enfront de $1/T$. Ajusteu els valors a una recta i determineu-ne el pendent. Trobeu L_v d'este pendent, que serà el valor mitjà en l'interval de temperatures que es treballa.

Un altra possibilitat és treballar amb parelles de punts i l'eq. (3), en dos o tres intervals, p. e.: 20-25°C, 40-45°C y 60-65°C.

TAULA

PRESSIÓ DE VAPOR DE L'AIGUA DE 0 A 100° C

(Haar, L., Gallagher, J.S., and Kell, G.S., *NBS/NRC Steam Tables*, Hemisphere Publishing Corp., New York, 1984.)

| $t/^{\circ}\text{C}$ | P/kPa | P/mmHg | $t/^{\circ}\text{C}$ | P/kPa | P/mmHg |
|----------------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------|-----------------|
| 0.0000 | 0.61129 | 4.5851 | 51.000 | 12.970 | 97.283 |
| 1.0000 | 0.65716 | 4.9291 | 52.000 | 13.623 | 102.18 |
| 2.0000 | 0.70605 | 5.2958 | 53.000 | 14.303 | 107.28 |
| 3.0000 | 0.75813 | 5.6864 | 54.000 | 15.012 | 112.60 |
| 4.0000 | 0.81359 | 6.1024 | 55.000 | 15.752 | 118.15 |
| 5.0000 | 0.87260 | 6.5450 | 56.000 | 16.522 | 123.93 |
| 6.0000 | 0.93537 | 7.0159 | 57.000 | 17.324 | 129.94 |
| 7.0000 | 1.0021 | 7.5164 | 58.000 | 18.159 | 136.20 |
| 8.0000 | 1.0730 | 8.0482 | 59.000 | 19.028 | 142.72 |
| 9.0000 | 1.1482 | 8.6122 | 60.000 | 19.932 | 149.50 |
| 10.000 | 1.2281 | 9.2115 | 61.000 | 20.873 | 156.56 |
| 11.000 | 1.3129 | 9.8476 | 62.000 | 21.851 | 163.90 |
| 12.000 | 1.4027 | 10.521 | 63.000 | 22.868 | 171.52 |
| 13.000 | 1.4979 | 11.235 | 64.000 | 23.925 | 179.45 |
| 14.000 | 1.5988 | 11.992 | 65.000 | 25.022 | 187.68 |
| 15.000 | 1.7056 | 12.793 | 66.000 | 26.163 | 196.24 |
| 16.000 | 1.8185 | 13.640 | 67.000 | 27.347 | 205.12 |
| 17.000 | 1.9380 | 14.536 | 68.000 | 28.576 | 214.34 |
| 18.000 | 2.0644 | 15.484 | 69.000 | 29.852 | 223.91 |
| 19.000 | 2.1978 | 16.485 | 70.000 | 31.176 | 233.84 |
| 20.000 | 2.3388 | 17.542 | 71.000 | 32.549 | 244.14 |
| 21.000 | 2.4877 | 18.659 | 72.000 | 33.972 | 254.81 |
| 22.000 | 2.6447 | 19.837 | 73.000 | 35.448 | 265.88 |
| 23.000 | 2.8104 | 21.080 | 74.000 | 36.978 | 277.36 |
| 24.000 | 2.9850 | 22.389 | 75.000 | 38.563 | 289.25 |
| 25.000 | 3.1690 | 23.769 | 76.000 | 40.205 | 301.56 |
| 26.000 | 3.3629 | 25.224 | 77.000 | 41.905 | 314.31 |
| 27.000 | 3.5670 | 26.755 | 78.000 | 43.665 | 327.51 |
| 28.000 | 3.7818 | 28.366 | 79.000 | 45.487 | 341.18 |
| 29.000 | 4.0078 | 30.061 | 80.000 | 47.373 | 355.33 |
| 30.000 | 4.2455 | 31.844 | 81.000 | 49.324 | 369.96 |
| 31.000 | 4.4953 | 33.718 | 82.000 | 51.342 | 385.10 |
| 32.000 | 4.7578 | 35.686 | 83.000 | 53.428 | 400.74 |
| 33.000 | 5.0335 | 37.754 | 84.000 | 55.585 | 416.92 |
| 34.000 | 5.3229 | 39.925 | 85.000 | 57.815 | 433.65 |
| 35.000 | 5.6267 | 42.204 | 86.000 | 60.119 | 450.93 |
| 36.000 | 5.9453 | 44.593 | 87.000 | 62.499 | 468.78 |
| 37.000 | 6.2795 | 47.100 | 88.000 | 64.958 | 487.23 |
| 38.000 | 6.6298 | 49.728 | 89.000 | 67.496 | 506.26 |
| 39.000 | 6.9969 | 52.481 | 90.000 | 70.117 | 525.92 |
| 40.000 | 7.3814 | 55.365 | 91.000 | 72.823 | 546.22 |
| 41.000 | 7.7840 | 58.385 | 92.000 | 75.614 | 567.15 |
| 42.000 | 8.2054 | 61.546 | 93.000 | 78.494 | 588.75 |
| 43.000 | 8.6463 | 64.853 | 94.000 | 81.465 | 611.04 |
| 44.000 | 9.1075 | 68.312 | 95.000 | 84.529 | 634.02 |
| 45.000 | 9.5898 | 71.929 | 96.000 | 87.688 | 657.71 |
| 46.000 | 10.094 | 75.711 | 97.000 | 90.945 | 682.14 |
| 47.000 | 10.620 | 79.657 | 98.000 | 94.301 | 707.32 |
| 48.000 | 11.171 | 83.789 | 99.000 | 97.759 | 733.25 |
| 49.000 | 11.745 | 88.095 | 100.00 | 101.32 | 759.96 |
| 50.000 | 12.344 | 92.588 | | | |