

Presiunea de vapori a apei sub 100°C – Căldura latentă de vaporizare

- **Topica abordată**

Presiune, temperatură, volum, vaporizare, presiune de vapori, ecuația Clausius-Clapeyron

- **Scopul lucrării**

- investigarea dependenței presiunii vaporilor de apă de temperatură
- măsurarea presiunii de vapori la diferite temperaturi și trasarea graficului dependenței presiunii de vapori de temperatură
- trasarea graficului $\ln P$ vs $1/T$
- determinarea căldurii latentă de vaporizare din graficul $\ln P$ vs $1/T$

Principiu (Noțiuni introduse)

Căldura latentă de vaporizare a apei este definită ca fiind cantitatea de căldură necesară unui mol de apă în stare lichidă pentru a trece în stare de vapori la temperatura de fierbere a apei și presiune atmosferică. Este posibil să se determine căldura latentă de vaporizare prin măsurarea presiunii de vapori a apei la diferite temperaturi utilizând metoda prezentată în continuare.

Principiul metodei

La presiune normală (1013 hPa) apa fierbe la 100°C. Aceasta înseamnă că presiunea de vapori a apei la 100°C este 1013 hPa. Presiunea de vapori a apei scade cu scăderea temperaturii T ($T = t + 273$) până la câțiva hPa, la temperatura camerei. Relația dintre temperatură și presiune într-un sistem care conține o substanță atât în fază lichidă cât și în stare gazoasă, în echilibru termodinamic, este dată de ecuația Clausius-Clapeyron:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\lambda}{RT^2}, \quad (1)$$

unde λ este căldura latentă de vaporizare și R constanta generală a gazelor. Această ecuație poate fi integrată între o stare inițială de echilibru a sistemului, indexată cu 1 și o altă stare de echilibru arbitrară:

$$\ln \frac{P}{P_1} = -\frac{\lambda}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right). \quad (2)$$

Ec. (2) implică faptul că presiunea p este măsurată într-o scară logaritmică, atunci diagrama $\ln(P/P_1)$ versus $1/T$ este o dependență descendentă și liniară a cărei pantă, în valoare absolută este λ/R .

Dispozitivul experimental și modul de lucru

1. O cantitate de aproximativ 250 ml apă deionizată este necesară pentru derularea experimentului. Apa este degazată prin fierbere timp de 10 minute pentru a elimina gazele dizolvate și răcită apoi la temperatura camerei.
2. Un balon rotund cu trei orificii este umplut trei-sferturi cu apă degazată. Acesta este pus apoi deasupra unui pahar Berzelius cu apă aflat pe o plită electrică. Se pornește plita și se așteaptă până ce temperatura din balonul rotund atinge 35°C . La 35°C spațiul de deasupra apei este evacuat cu ajutorul pompei de vid. Sistemul este încălzit în continuare, iar presiunea și temperatura în balonul rotund vor crește. Pentru trasarea graficului $p=p(T)$ se vor face citirile pentru temperatură și presiune din 5 în 5°C până la temperatura maximă $t = 85^{\circ}\text{C}$.
3. Dispozitivul experimental este prezentat în Figura 1 și conține: pompă de vid, manometru, balon rotund cu trei orificii, pahar Berzelius, termometru, plită electrică, tub de sticlă și fortune.



Figura 1. Dispozitivul experimental pentru măsurarea presiunii de vapori a apei sub 100°C

- **Set-up and procedure**

Pentru efectuarea experimentelor dispozitivul experimental este setat ca în Figura

Manometrul este fixat de aproximativ la 40 cm deasupra balonului rotund. Manometrul este conectat la balonul rotund cu ajutorul unui furtun și un tub de sticlă de aprox. 20 cm introdus într-unul dintre orificiile balonului rotund. În cel de-al doilea orificiu al balonului rotund este pus un termometru iar cel de-al treilea este conectat la pompa de vid printr-un robinet cu o singură închidere în unghi drept. Conținutul balonului rotund este complet etanșat de exterior.

Un pahar Berzelius de 600 ml, care este umplut cu apă, acționează ca o baie de încălzire pentru balonul rotund. Balonul rotund este umplut trei-sferturi cu apă degazată și apoi închis etanș. Termometrul se află în partea de jos a balonului rotund.

Inițial partea inferioară a tubului de sticlă, care face legătura între tubul rotund și manometru, este ridicată deasupra suprafeței de apă degazată din balonul rotund. Aerul aflat deasupra apei din balonul rotund este evacuat. După evacuare partea inferioară a tubului de sticlă este coborâtă în apă, până la baza balonului rotund. Este stabilită atunci presiunea atmosferică în balonul rotund și manometrul precum și furtunul de legătură este umplut cu apă. Această procedură permite obținerea oricărui “*volum-mort*” din manometru. Într-adevăr, se presupune că manometrul este utilizat pentru măsurarea presiunii fazei de vapori. Când balonul rotund este supus încălzirii peste temperatura camerei, vaporii saturați din interiorul balonului, care în general rămân la aceeași temperatură, încep să condenseze pe componentele interne ale manometrului. Aceasta poate conduce la fragmentarea coloanei de gaz din interiorul manometrului și din acest motiv la erori de citire ale presiunii de vapori. Pentru a evita aceste situații, presiunea este măsurată din faza lichidă a sistemului.

Citirea inițială a manometrului – în principiu dată de prezența coloanei de apă – este:

$$P_{citire} = P_{initial}$$

Presiunea din balonul rotund este acum P_0 (presiunea atmosferică, care poate fi citită de la un barometru).

În continuare apa din balon este încălzită până la o temperatură de 35°C și spațiul de deasupra apei este evacuat. Robinetul care face legătura cu pompa este închis, balonul fiind complet etanș acum și se continuă încălzirea. La $t = 40^\circ\text{C}$, și apoi, la fiecare 5°C, sunt citite temperatura și presiunea. Toate citirile ar trebui să fie completate în aproximativ 15 minute pentru a preveni obținerea unor rezultate eronate datorită pierderilor din sistem.

Astfel presiunea- P în sistem este dată de următoarea expresie:

$$P = P_0 - P_{citire} + P_{initial}$$

unde P_{citire} este presiunea citită la manometru.

Datele obținute se vor pune într-un tabel de forma, după ce se determină presiunea inițială și se citește presiunea atmosferică cu ajutorul unui barometru :

Nr.crt.	t ($^{\circ}$ C)	P_{citire} (hPa)	$P = P_0 - P_{citire} + P_{initial}$ (hPa)	lnp	T(K)	1/T

Cu ajutorul datelor obținute se trasează dependenței presiunii de vapori de temperatură și a graficului lnP vs 1/T

Dependența presiunii de 1/T, în scară logaritmică, este asemănătoare cu cea prezentată în Figura 2. Rezultatele indică faptul că această dependență este aproape liniară, ceea ce confirmă valabilitatea ecuației Clausius-Clapeyron dacă λ este o constantă. Din grafic sau cu ajutorul datelor experimentale se obține panta dreptei. Cu valoarea obținută pentru pantă și cunoscând valoarea constantei generale a gazelor, $R = 8.3144$ J/mol K, se poate obține căldura latentă de vaporizare: $\lambda = m R$ (kJ/mol).

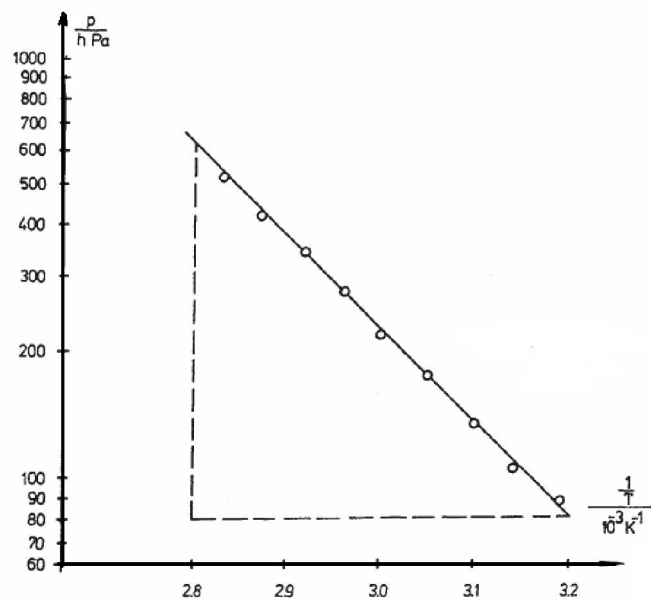


Figure 2. Dependența presiunii de vapori în funcție de 1/T, în scară logaritmică

Acesta este o valoare medie rezonabilă pentru căldura latentă de vaporizare a apei. Măsurători mai exacte arată o ușoară creștere a căldurii latente de vaporizare cu descreșterea temperaturii. Valoarea prezentată în literatura de specialitate pentru căldura latentă de vaporizare este de 44.15 kJ/mol la $t = 20^{\circ}$ C și 40.6 kJ/mol la $t = 100^{\circ}$ C.

Pentru procesarea unui set de date care conțin N măsurători, ar trebui relizată dependența valorilor $y_i = \ln(P_i/P_1)$ de $x_i = 1/(t_i + 273)$ și aplicată metoda celor mai mici pătrate pentru obținerea punctelor (x_i, y_i) și aflarea valorilor absolute pentru panta m. Atunci, valoarea λ se obține prin multiplicarea valorii obținute pentru m cu R.