

ĆWICZENIE 22

WYZNACZANIE CIEPŁA PAROWANIA WODY W TEMPERATURZE WRZENIA

Aby parowanie cieczy zachodziło w stałej temperaturze należy dostarczyć jej określoną ilość ciepła w jednostce czasu. Wielkość równą liczbowo ilości ciepła, które jest konieczne do zmiany jednostki masy cieczy w parę w stałej temperaturze nazywa się ciepłem parowania cieczy.

Oznaczmy ją grecką literą λ .

Jednostką ciepła parowania w układzie SI jest J/kg, a w układzie CGS cal/g. Ciepło dostarczane cieczy przy izotermicznym parowaniu zużywane jest na pracę przeciwko siłom przyciągania molekularnego przy przejściu przez powierzchnię cieczy (wewnętrzne ciepło parowania) i na pracę zwiększenia objętości właściwej, przy przejściu od objętości cieczy do objętości pary (zewnątrzne ciepło parowania).

Praca L_1 wykonywana przeciwko siłom przyciągania molekularnego przy odparowaniu jednostki cieczy jest liczbowo równa różnicy energii wewnętrznej pary U_p i cieczy C .

Zatem:

$$L_1 = U_p - C.$$

Pracę wykonaną przy zwiększeniu objętości właściwej przy odparowaniu jednostki masy cieczy można obliczyć ze wzoru:

$$L_2 = p (V - C_v),$$

Gdzie:

p – ciśnienie zewnętrzne,

V – objętość właściwa pary,

C_v – Objętość właściwa cieczy.

Ciepło parowania cieczy jest równe sumie wewnętrznego ciepła parowania λ_1 i zewnętrznego ciepła parowania λ_2 .

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2.$$

Dla jednostki masy

$$\lambda_1 = L_1 ; \lambda_2 = L_2 .$$

Zatem

$$\lambda = U_p - C + p(V - C_v).$$

Pracę L można wyrazić inaczej. Przy przejściu jednej cząsteczki z obszaru cieczy do obszaru pary wykonywana jest praca (przeciw siłom molekularnym) L' , ponieważ w jednostce masy znajduje się N/μ cząsteczek, to cała praca

$$L_1 = \frac{N}{\mu} L' ,$$

a ciepło parowania

$$\lambda = \frac{N}{\mu} + p(V_p - V_c),$$

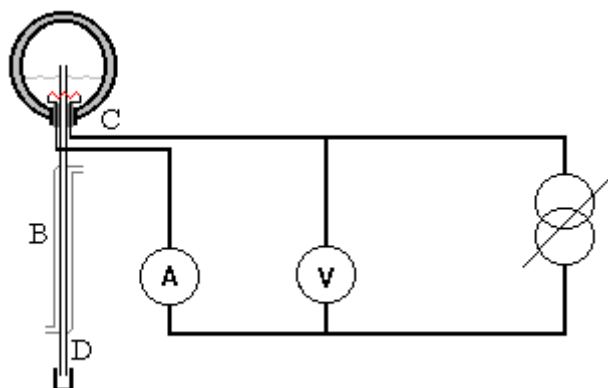
gdzie:

N – liczba Avogadro,

μ - masa cząsteczkowa.

Ciepło parowania zależy od rodzaju cieczy, a dla badanej cieczy jest funkcją temperatury. Ze wzrostem temperatury ciepło parowania maleje, ze zmniejszeniem się - rośnie. W stanie krytycznym znika różnica między cieczą a jej parą nasyconą – ciepło parowania staje się równe zero.

Schemat aparatury do pomiarów przedstawia rysunek:



Głównym elementem jest kulista kolba w osłonie azbestowej częściowo napełniona wodą zamknięta jest szczelnie gumowym korkiem, przez który przeciągnięto dwa przewody do spirali (C) służącej (po przepuszczeniu prądu) jako źródła ciepła, a także rurki (D) odprowadzającej parę do chłodnicy (B). W chłodnicy krąży woda pobierana z sieci wodociągowej. Para wytwarzająca się w czasie wrzenia przechodząc przez chłodnicę skrapla się i spływa do podstawionego naczynia. Spirala zasilana jest prądem przemiennym którego napięcie i natężenie można regulować autotransformatorem a wartości odczytać z amperomierza A i woltomierza V.

Metoda pomiaru

Wodę w kolbie ogrzewamy do temperatury wrzenia. Zachowując stały jednakowy dopływ energii do wnętrza cieczy przez 15 – 20 minut ustala się różnica temperatur między wnętrzem kolby a otoczeniem. Oznacza to, że straty ciepła na ostygnięcie zależą tylko od czasu ogrzewania. Ustala się równowaga między ilością pary wytworzonej w kolbie a skroplonej w chłodnicy.

Oznaczmy przez I_1 natężenie skuteczne płynącego prądu, a przez U_1 jego napięcie. Prąd płynąc przez spiralę wykonuje w czasie τ pracę $U_1 I_1 \tau$, która w całości zamienia się w ciepło. Zużywane jest ono na zmianę wody w parę w temperaturze wrzenia, a także na ogrzanie otaczającego środowiska. W przypadku stanów ustalonych ilość wymienionego ciepła z otoczeniem w

jednostce czasu jest stała, a zatem i ilość ciepła zużywana w jednostce czasu na zamianę cieczy w parę jest stała. Więc:

$$U_1 I_1 \tau = Q_1 + q,$$

gdzie:

Q_1 - ilość ciepła zużywana na zmianę wody w parę w czasie τ ,

q – straty ciepła odpowiadające temu samemu czasowi.

Jeżeli w czasie τ wyparowała woda o masie m_1 , to:

$$Q_1 = m_1 \lambda$$

$$U_1 I_1 \tau = m_1 \lambda + q \quad /1$$

Masa m_1 odparowanej wody w czasie τ może być znaleziona doświadczalnie.

Przy ustalonej równowadze będzie równa masie wody otrzymanej w tym samym czasie w postaci destylatu. Doświadczalna ocena strat jest bardzo trudna.

Dlatego dla wykluczenia ich z równań następne pomiary przeprowadzamy przy innych parametrach zasilania. Po ustaleniu nowych warunków zbieramy destylat w czasie τ (jak przy pierwszym pomiarze). Otrzymamy inną masę pary wytwarzającej się w jednostce czasu. Dla zapewnienia skroplenia pary wodnej (w nowych warunkach) konieczna może być odpowiednia regulacja szybkości strumienia chłodzącej wody (zwiększenie, lub zmniejszenie w zależności od ustawionych parametrów zasilania). Straty ciepła w drugim przypadku przy zachowaniu jednakowych warunków można przyjąć, że są równe stratom w pierwszym pomiarze.

$$U_2 I_2 \tau = Q_2 + q,$$

oraz

$$Q_2 = m_2 \lambda$$

to analogicznie jak w pierwszym pomiarze otrzymamy:

$$U_2 I_2 \tau = m_2 \lambda + q \quad /2$$

Z obu równań /1 i /2 znajdujemy:

$$\lambda = \frac{(U_1 I_1 - U_2 I_2) \tau}{m_2 - m_1} \quad /3$$

Podstawową wadą tej metody, jak i wielu innych metod wyznaczania ciepła parowania cieczy jest trudność otrzymania suchej pary.

Zawsze mamy do czynienia z unoszeniem ze strumieniem pary kropelek wrzącej cieczy, co prowadzi do błędów przy wyznaczaniu ciepła parowania. Duże znaczenie dla zapewnienia niezbędnej dokładności pomiarów ma stabilność warunków przy przeprowadzaniu pomiarów. W warunkach niestabilnego układu znaczny błąd powstaje w wyniku niekontrolowanych strat ciepła oddanego otoczeniu i niepełnej kondensacji pary w chłodnicy.

Przebieg pomiarów

1. Otworzyć kran i ustalić prędkość przepływu wody przez chłodnicę.
2. Włączyć zasilanie i przy pomocy autotransformatora ustawić napięcie zasilania na ok. 220V.
3. Pomiar rozpocząć po około 10 – 15 minutach od momentu rozpoczęcia wrzenia wody w kolbie.
4. Destylat zbierać do suchej zlewki w czasie określonym przez prowadzącego zajęcia.
5. W czasie zbierania destylatu co 1 minutę zapisywać wskazania woltomierza i amperomierza. Znaleźć średnią wartość napięcia i natężenia.
6. Zważyć zlewkę z możliwie największą dokładnością. (nie trzeba wyznaczać jej masy, ponieważ interesuje nas różnica mas w obu pomiarach).
7. W międzyczasie zmienić warunki zasilania na np.: $\frac{2}{3}$ lub $\frac{3}{4}$ wartości pierwszego pomiaru.
8. Powtórzyć czynności z punktów 3 do 6.

UWAGA

1. Nie można dopuścić do bardzo burzliwego wrzenia wody w kolbie.

2. Po zakończeniu pomiarów wyłączyć autotransformator z sieci i zakreślić dopływ wody do układu chłodzącego.

9. Obliczyć wartość λ i porównać ją z wartością tablicową.
10. Obliczyć błąd bezwzględny i względny dopuszczalny przy pomiarach napięcia, natężenia prądu, czasu, masy i różnicy mas.
11. Obliczyć zewnętrzne ciepło parowania w temperaturze wrzenia, przyjmując, że w kolbie mamy parę nasyconą. Temperaturę wrzenia znaleźć w tablicach zależności temperatury wrzenia od ciśnienia. Ciśnienie atmosferyczne odczytać z barometru. Gęstość pary nasyconej obliczyć z zależności:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT} ,$$

gdzie:

P - ciśnienie atmosferyczne,

μ - masa cząsteczkowa pary

R – stała gazowa

T – temperatura wrzenia wody w °K

12. Wyznaczyć wewnętrzne ciepło parowania ze wzoru $\lambda_1 = \lambda - \lambda_2$, przyjmując, że λ - doświadczalne ciepło parowania wody w temperaturze wrzenia.
13. Obliczyć pracę przeciwko siłom molekularnego przyciągania przy przejściu jednej drobinie wody z fazy ciekłej w fazę gazową.

Pytania dodatkowe

1. Jak objaśnić z punktu widzenia kinetyczno molekularnej teorii materii zmniejszenie się ciepła parowania przy przejściu do wyższych temperatur?
2. Jaki wpływ na wartość ciepła parowania ma dostanie się kropelek wody do rurki D (patrz rysunek)?
3. Jaki wpływ na wartość ciepła parowania ma nierówność strat w pierwszej i drugiej serii pomiarowej?
4. Porównaj pracę wyjścia jednej cząsteczki cieczy L_1 , z wielkością $kT/2$ gdzie k – stała Boltzmana.
5. Jakie warunki powinny być spełnione, aby zewnętrzne ciepło parowania można było obliczyć z równania

$$\lambda_2 = PV_n = \frac{m}{\mu} RT \quad ?$$

6. Oblicz λ_2 korzystając z powyższego wzoru i porównaj otrzymany wynik z λ (wzór /3).

Moc prądu przemiennego obliczamy ze wzoru $P = UI \cos \varphi$,

gdzie: φ - przesunięcie fazowe między prądem a napięciem.

Przyjmując, że indukcyjność spirali jest mała, moc możemy liczyć ze wzoru $P = UI$.

LITERATURA

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| 1. S. Dymus | Termodynamika |
| 2. B. Jaworski, A. Dietłaf | Kurs fizyki t.1 |
| 3. B. Jaworski, A. Piński | Elementy fizyki t.1 |
| 4. A. Matwiejew | Fizyka cząsteczkowa |