



Podstawy Fizyki Ciepło

Praca zbiorowa

Ćwiczenie F 22

**WYZNACZANIE CIEPŁA PAROWANIA WODY W
TEMPERATURZE WRZENIA**

opr. tech. Mirosław Maś

Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny
Siedlce 2019

1. Wstęp

Celem ćwiczenia jest poznanie procesów parowania i wrzenia, przemian fazowych, ciepła przemiany, zasady bilansu cieplnego oraz doświadczalne wyznaczenie ciepła parowania wody przy użyciu kalorymetru.

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy sprawdzić czy zestaw laboratoryjny jest kompletny.

Do ćwiczenia należy opanować następujące zagadnienia teoretyczne:

- parowanie cieczy, czynniki wpływające na szybkość parowania,
- wrzenie, temperatura wrzenia, warunki jakie muszą być spełnione, aby ciecz wrzała,
- zależność temperatury cieczy od ciśnienia,
- ciepło parowania, definicja, jednostki w układzie SI,
- pierwsza zasada termodynamiki, bilans cieplny
- przemiany termodynamiczne,
- przemiany stanu skupienia materii i związane z tym ciepło przemiany.

2. Wprowadzenie teoretyczne

Parowanie - proces powstawania pary na powierzchni cieczy. Zachodzi w każdej temperaturze, a jego intensywność rośnie wraz z jej wzrostem. Parowanie polega na tym, że – w warstwie powierzchniowej cieczy – istnieją cząsteczki, które, mając dużą energię kinetyczną, opuszczają powierzchnię cieczy, jednocześnie obniżając jej temperaturę.

Szybkość parowania – to ilość cieczy przechodzącej w stan pary w jednostce czasu. Zależy ona od powierzchni cieczy, od ciśnienia pary nad tą powierzchnią oraz od ciśnienia atmosferycznego.

Wrzenie - to intensywne parowanie cieczy, zachodzące, nie tylko na powierzchni, ale w całej objętości cieczy. Para w pęcherzykach jest w równowadze termodynamicznej z cieczą, jest parą nasyconą, a ciśnienie jej zależy wyłącznie od temperatury. Wrzenie cieczy odbywa się w takiej temperaturze, przy której ciśnienie pary nasyconej wewnątrz pęcherzyków jest prawie równe ciśnieniu atmosferycznemu. Zwiększając one wtedy swoją objętość - wypływają na powierzchnię, pękają i zawarta w nich para uwalnia się do atmosfery nad powierzchnią cieczy. Temperaturę, w której zachodzi opisany powyżej proces - nazywamy **temperaturą wrzenia**.

Wynika z niego - zależność temperatury wrzenia cieczy od ciśnienia atmosferycznego:

im niższe ciśnienie, tym niższa jest temperatura wrzenia.

Podczas wrzenia – pomimo dostarczania ciepła – temperatura cieczy jest stała, przy stałym ciśnieniu. Dostarczane ciepło jest zużywane wyłącznie na zmianę stanu skupienia z ciekłego w gazowy lub inaczej, z fazy ciekłej do gazowej. Jest to tzw. **przemiana fazowa I rodzaju**. Aby mogła ona zajść, konieczne jest doprowadzenie do układu ciepła przemiany fazowej Q_r , zwanego ciepłem parowania.

Ciepło parowania – Q_r - to ilość ciepła (Q) potrzebna do wyparowania 1 kg cieczy w temperaturze wrzenia:

$$Q_r = \frac{Q}{m}$$

Jednostką w układzie SI jest [J/kg]. Analogiczna wielkość odniesiona do 1 mola nazywa się molowym ciepłem parowania Q_{μ} .

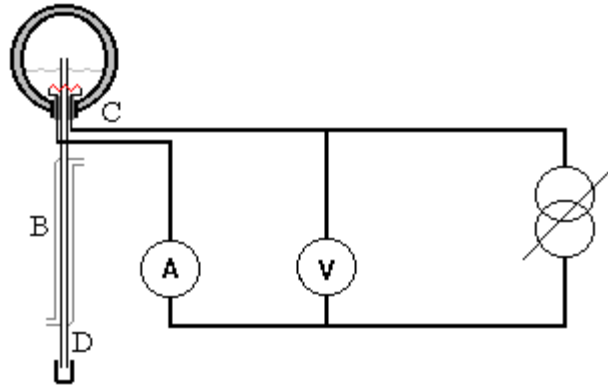
Ciepło parowania zależy od rodzaju cieczy, a dla badanej cieczy jest funkcją temperatury. Ze wzrostem temperatury ciepło parowania maleje, ze zmniejszeniem się - rośnie. W stanie krytycznym znika różnica między cieczą a jej parą nasyconą – ciepło parowania staje się równe zero.

Bilans cieplny - jest uogólnieniem I zasady termodynamiki dla analizowanego układu, obowiązuje w izolowanych układach termodynamicznych. W układzie idealnym (bez strat) ilość ciepła pobranego jest równy ilości ciepła oddanego.

Dostarczenie ciepła do układu zmienia jego temperaturę lub zmienia jego stan skupienia (przemiana fazowa).

3. Schemat układu pomiarowego.

Głównym elementem zestawu 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 źródło 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 płynący 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 zmianę 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.

4. Przebieg pomiarów

1. Otworzyć kran i ustalić prędkość przepływu wody przez chłodnicę.
2. Włączyć zasilanie i przy pomocy autotransformatora ustawić napięcie zasilania na ok. 220 V.

Włączenia dokonać na wyraźne polecenie prowadzącego zajęcia lub w obecności laboranta.

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 dla nowych warunków zasilania.

UWAGA

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

2. Po zakończeniu pomiarów wyłączyć autotransformator z sieci i zakręcić 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 drobiny 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 $P = UI$.

5. Literatura

1. A. Daniluk Instrukcje do ćwiczeń z fizyki UPH w Siedlcach
2. S. Dymus Termodynamika
3. B. Jaworski, A. Dietłaf Kurs fizyki t.1
4. B. Jaworski, A. Piński Elementy fizyki t.1
5. A. Matwiejew Fizyka cząsteczkowa
6. Szczeniowski S.:Fizyka doświadczalna, cz. 2, PWN, Warszawa.
7. Massalski J., Massalska M. Fizyka dla inżynierów, WNT, Warszawa.
8. <https://www.uj.edu.pl>
9. <http://www.up.poznan.pl/kfiz/images/attachments/protokoly/c4.pdf>
10. <https://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/22600391/cwiczenieC3.pdf>