

## Ćwiczenie C2

# Badanie zależności temperatury wrzenia wody od ciśnienia

### C2.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar zależności temperatury wrzenia wody od ciśnienia (poniżej ciśnienia atmosferycznego), przeprowadzenie dyskusji otrzymanych wyników i źródeł niepewności pomiarowych oraz wyznaczenie ciepła przemiany ciec-z-gaz (ciepła parowania).

### C2.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Stany skupienia,
- przemiany fazowe I i II rodzaju,
- ciepło przemiany fazowej (w szczególności właściwe ciepło parowania i molowe ciepło parowania),
- wykres fazowy dla wody,
- równanie stanu gazu doskonałego,
- równanie Clausiusa-Clapeyrona,
- parowanie, wrzenie,
- ciśnienie, ciśnienie pary nasyconej, jednostki ciśnienia i metody pomiaru ciśnienia,
- metoda najmniejszych kwadratów.

### C2.3. Literatura

- [1] Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna, cz. 2, Ciepło i fizyka cząsteczkowa*, PWN, Warszawa.
- [2] Dryński T.: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa.
- [2] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 2*, PWN, Warszawa.
- [3] Massalski J., Massalska M.: *Fizyka dla inżynierów, cz. 1*, WNT, Warszawa.

- [4] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*,  
[http://www.mif.pg.gda.pl/index.php?node=mat\\_dla\\_stud\\_v2](http://www.mif.pg.gda.pl/index.php?node=mat_dla_stud_v2)

## C2.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

### Układ doświadczalny

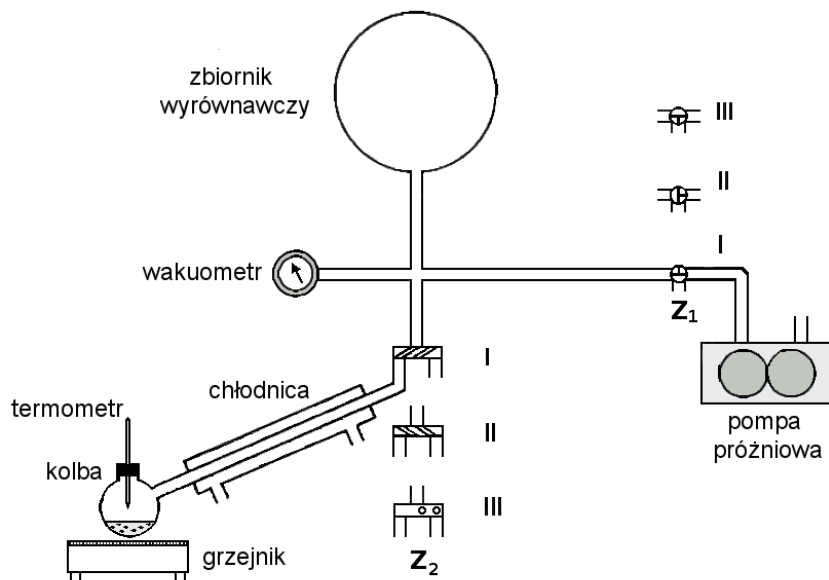
Rysunek C2.1 przedstawia schemat układu pomiarowego, zaś rysunek C2.2 zdjęcie układu z zaznaczonymi na schemacie elementami. Układ ten umożliwia pomiar temperatury wrzenia wody pod różnymi ciśnieniami. Główne elementy aparatury:

- **K** — podgrzewana kolba z wodą<sup>1</sup> połączona z układem, w którym można regulować ciśnienie używając pompy próżniowej **PP** i zaworów **Z1** oraz **Z2**,
- **M** — manometr (wakuometr) do pomiaru ciśnienia w kolbie;
- **T** — termometr do pomiaru temperatury wody;
- **Ch** — chłodnica umożliwiająca skraplanie się pary wodnej i powrót wody do kolby,
- **A** — autotransformator zasilający płaszcz grzejny **PG**.

### Przebieg doświadczenia

1. Włączyć obieg wody w chłodnicy.
2. Zawór **Z1** przełączyć w położenie **I**, zawór **Z2** przełączyć w położenie **I**.
3. Włączyć płaszcz grzejny włączając autotransformator.
4. Włączyć pompę próżniową i odpompować powietrze z aparatury do podciśnienia określonego przez prowadzącego ćwiczenie.
5. Zaworem **Z1** zapowietrzyć pompę przez ustawienie go w położenie **II** (ma to zapobiec wciągnięciu oleju z pompy do obszaru próżni).
6. Wyłączyć pompę.
7. Odczytać ciśnienie atmosferyczne na barometrze znajdującym się w pracowni.
8. Wykonać serię pomiarów temperatury wrzenia wody przy coraz mniejszym podciśnieniu. W tym celu przełączyć zawór **Z2** z położenia **I** do **II** i zwiększyć stopniowo ciśnienie wewnątrz układu. Po osiągnięciu założonej wartości zawór **Z2** przełączyć w położenie **I**. Poczekać aż woda podgrzeje się do temperatury,

<sup>1</sup> W celu uniknięcia przegrzania wody z powodu braku centrów parowania, często wprowadza się do naczynia substancje o dużej powierzchni czynnej. Dlatego też do kolby zostały wprowadzone fragmenty ceramicznego, porowatego materiału umożliwiającego powstawanie pęcherzyków pary.

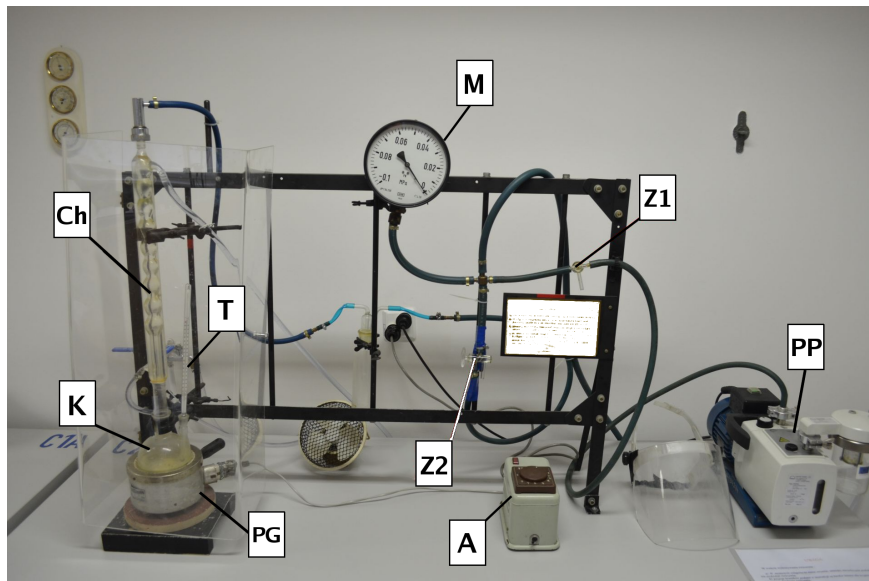


Rysunek C2.1. Schemat układu pomiarowego

- w której zacznie wrzeć. Odczytać temperaturę wrzenia, skontrolować podciśnienie na wakuometrze. W ten sposób zwiększać skokowo ciśnienie aż do ciśnienia równego ciśnieniu atmosferycznemu (wartość „0” na wakuometrze).
9. Po skończeniu pomiarów należy wyłączyć płaszcz grzejny (wyłączyć autotransformator), włączyć wiatraczek, zawór **Z2** przełączyć w położenie **III**, zawór **Z1** przełączyć w położenie **I**. Włączyć pompę i odpompowywać przez chwilę powietrze ze zbiornika próżni wstępnej (w celu osuszenia zbiornika).
  10. Zapowietrzyć aparaturę zaworem **Z1** przełączając go w położenie **III** i wyłączyć pompę.
  11. Odczytać ciśnienie atmosferyczne na barometrze znajdującym się w pracowni.
  12. Odejmując od ciśnienia atmosferycznego zmierzoną wartość podciśnienia wyliczyć rzeczywiste ciśnienie panujące w naczyniu z wodą przy każdym pomiarze.

### Zadania do wykonania

- C2.1. Wyznaczyć temperaturę wrzenia wody dla różnych wartości ciśnienia.
- C2.2. Korzystając z otrzymanych wyników eksperymentalnych, sporządzić wy-



Rysunek C2.2. Zdjęcie układu pomiarowego

kres zależności temperatury wrzenia od ciśnienia:  $T = f(p)$ . Na wykresie zaznaczyć niepewności pomiarowe i przedyskutować otrzymane wyniki.

C2.3. Sporządzić wykres zależności  $\ln p = f(1/T)$  i wyznaczyć wartość molowego ciepła parowania wody  $\lambda$  (metodą graficzną i/lub metodą najmniejszych kwadratów).

### Uzupełnienie do zadania C2.3

Zależność temperatury wrzenia cieczy od ciśnienia określa równanie Clausiusa - Clapeyrona:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda}{(V_p - V_c)T}, \quad (\text{C2.1})$$

gdzie  $\lambda$  — molowe ciepło parowania,  $V_p$  — molowa objętość pary w temperaturze  $T$ ,  $V_c$  — molowa objętość cieczy w temperaturze  $T$ . Przyjmując, że:

- $\lambda$  jest stałe – co w przybliżeniu jest słuszne dla różnicy temperatur równej kilkadziesiąt stopni (w zakresie od 273 K do 373 K ciepło parowania wody maleje o mniej niż 10%);
- molowa objętość pary jest dużo większa od molowej objętości cieczy,  $V_p \gg V_c$ ;
- para wodna w niezbyt wysokich temperaturach zachowuje się jak gaz doskonały,  $V_p = RT/p$ , gdzie stała gazowa  $R=8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ;

otrzymujemy:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\lambda p}{RT^2}. \quad (\text{C2.2})$$

Po scałkowaniu równania (C2.2) dostajemy:

$$\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right), \quad (\text{C2.3})$$

gdzie stałe całkowania  $p_0$  i  $T_0$  odpowiadają ciśnieniu i temperaturze pary nasyconej w pewnych wybranych warunkach. Sprowadzamy równanie (C2.3) do postaci liniowej stosując następujące podstawienie:

$$y = \ln p, \quad x = \frac{1}{T}, \quad a = -\frac{\lambda}{R}, \quad b = \frac{\lambda}{RT_0} + \ln p_0. \quad (\text{C2.4})$$

Zależność ta pozwala na wyznaczenie wartości molowego ciepła parowania wody  $\lambda$  metodą najmniejszych kwadratów.

### C2.5. Rachunek niepewności

Niepewność pomiaru temperatury wrzenia  $\Delta T$  i ciśnienia  $\Delta p$  oceniamy w czasie wykonywania pomiarów na podstawie podziałki użytego termometru i ciśnieniomierzy.

Niepewność pomiaru molowego ciepła parowania wody  $\lambda$  obliczamy jako niepewność standardową wielkości mierzonej pośrednio, bo wyrażonej przez współczynnik kierunkowy  $a$ . Niepewność pomiaru  $a$  obliczamy stosując odpowiednie wzory metody najmniejszych kwadratów.