

33 BADANIE ZALEŻNOŚCI TERMODYNAMICZNYCH GAZU DOSKONAŁEGO

1. ZAGADNIENIA TEORETYCZNE

- kinetyczno - molekularna teoria gazów;
- równanie stanu gazów doskonałych;
- prawa gazowe, izo-procesy gazu doskonałego;
- gaz van der Waalsa.

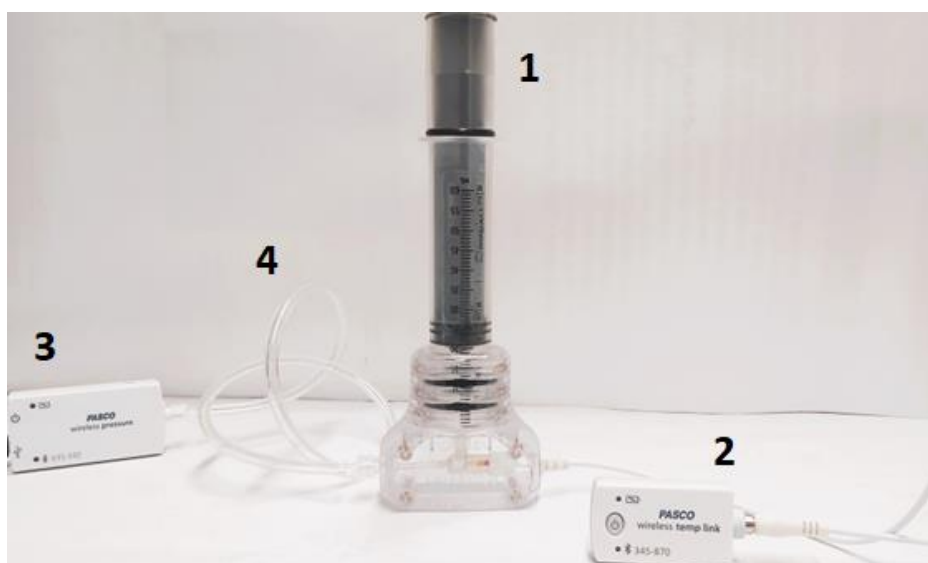
Przed przystąpieniem do pomiarów należy zapoznać się z Instrukcją do obsługi programu PASCO Capstone

2. POMIARY

Pomiary wykonywane są przy użyciu dedykowanego zestawu PASCO wraz z oprogramowaniem PASCO Capstone.

!!!Przy wykonywaniu ćwiczenia należy zachować szczególną ostrożność i przestrzegać wskazówek, aby nie uszkodzić urządzeń!!!

Podstawowym elementem zestawu jest strzykawka z podziałką zamocowana na specjalnym zbiorniku, do którego podłączyć można dwie sondy: temperatury oraz ciśnienia. Sondę temperatury podłącza się bezpośrednio poprzez przewód w końcówkę typu JACK. Sondę ciśnienia podłącza się poprzez gumową rurkę ze specjalnymi końcówkami.



Rys. 1. Zdjęcie układu pomiarowego: 1) strzykawka, 2) czujnik temperatury, 3) czujnik ciśnienia, 4) gumowa rurka.

Zadanie 1. Badanie zależności ciśnienia (p), temperatury (T) i objętości (V) gazu.

W trakcie tego ćwiczenia rejestrowane będą zmiany ciśnienia oraz temperatury w trakcie sprężania i rozprężania gazu o znanej objętości. W tym celu niezbędne będzie stworzenie arkusza umożliwiającego rejestrację danych w trybie ciągłym (Continous Mode w panelu sterowania pomiarem).

1. Uruchomić program PASCO Capstone, następnie wybrać zakładkę Classic Template (jak na Rys.PASCO.1 Instrukcji do obsługi programu PASCO Capstone).
2. Włączyć sondy ciśnienia i temperatury. Powinny pojawić się migające czerwone diody przy ikonach Bluetooth.
3. Sprawdzić, czy komunikacja Bluetooth między sondami a programem została nawiązana (Zakładka **Hardware Setup**, Rys.PASCO.3).
4. Aktywować czujniki 631-332 (pressure) oraz 345-870 (temp link) poprzez kliknięcie kursorem w dany element w tabeli **Available Wireless Devices**. Status aktywnych czujników będzie oznaczony pojawieniem się ikony zielonej baterii.
5. Wybrać w programie szablon z dwoma wykresami (szablon zaznaczony niebieską ramką na Rys.1).



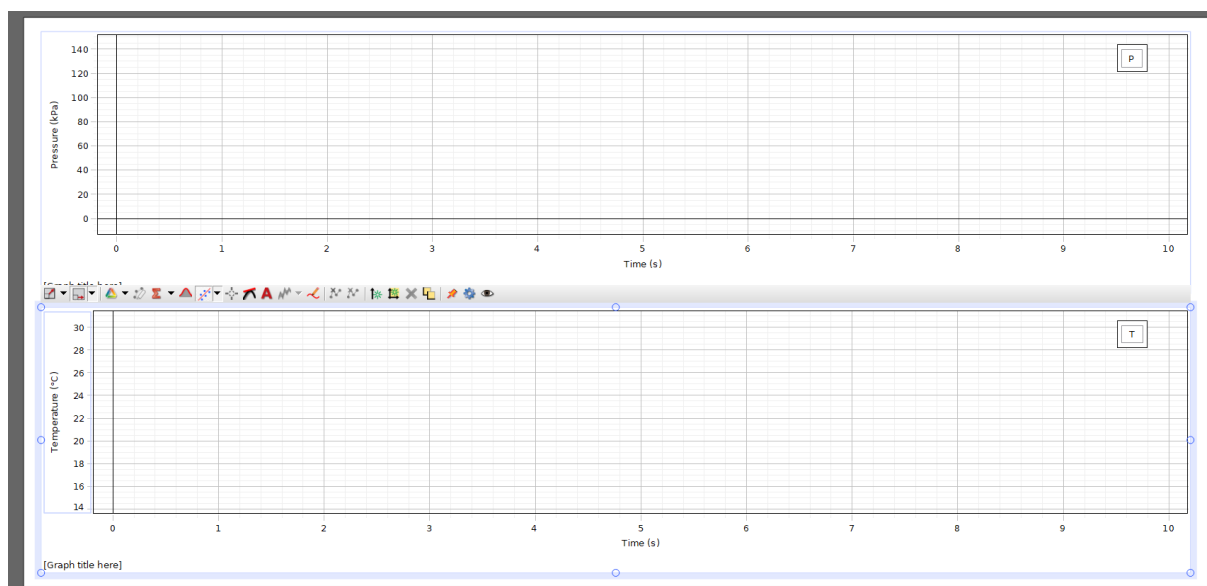
Rys. 1. Szablony dostępne w zakładce Classic Template. Do Zadania 1 należy wybrać zaznaczony szablon z dwoma wykresami.

6. Zgodnie z informacjami zawartymi w Instrukcji do oprogramowania PASCO Capstone (Rys.PASCO.4) w każdym oknie dialogowym wybrać opcję GRAPH (wykres) poprzez kliknięcie kursorem w ikonę pokazana w ramce obok.



7. Opisać osie (jak na Rys.PASCO.5). Wybrać z menu: Time [s] i Pressure [kPa] dla pomiaru ciśnienia, Time [s] i Temperature [°C] dla pomiaru temperatury (schemat przygotowanych wykresów pokazany na Rys. 2).

8. Wstawić tytuły (lewy dolny róg każdego okna [Graph title here]): „Pomiar ciśnienia w funkcji czasu” i „Pomiar temperatury w funkcji czasu”.



Rys. 2. Schemat szablonu wykresów do Zadania 1.

9. Na panelu sterowania pomiarem (Rys.PASCO.2a) wybrać pomiar w trybie ciągłym (**Continuous Mode**).

10. Na panelu sterowania pomiarem (Rys.PASCO.2a) ustawić parametr **Common Rate** na częstotliwość **20 Hz**.

11. Ustawić tłok strzykawki w pozycji $V_1 = 50 \text{ ml}$ i podpiąć sondy (zmontować układ zgodnie z Rys. 1). Sondę ciśnienia połączyć poprzez silikonową rurkę z ruchomymi gwintami (Rys. 3a), a sondę temperatury poprzez przewód typu Jack (Rys. 3b).

a)



b)



Rys. 3. Elementy składowe układu: a) sonda ciśnienia z silikonową rurką, b) sonda temperatury z przewodem typu Jack.

12. Chwycić oburącz strzykawkę (jak pokazano na Rys. 4). Włączyć rejestrowanie danych (przycisk **Record**, Rys.PASCO.2a).

13. Odczekać ok. 5 sekund, aby pomiary ciśnienia i temperatury ustabilizowały się. Następnie zdecydowanym ruchem i możliwie szybko ścisnąć tłok do minimalnej wartości objętości. Trzymając tłok ściśnięty obserwować zmiany wartości ciśnienia i temperatury do momentu ustabilizowania się tych wartości (ok. 15 sekund).



Rys. 4. Schemat poprawnego wykonania eksperymentu.

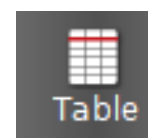
14. Trzymając tłok ściśnięty zanotować możliwie dokładnie wartość objętości do jakiej sprężono gaz (V_2).

15. Zwolnić tłok i obserwować zmiany wszystkich parametrów w trakcie swobodnego rozprężania gazu. Po ustabilizowaniu rejestrowanych wartości ciśnienia i temperatury zatrzymać pomiar (przycisk **Stop**).

16. Zanotować wartość objętości do jakiej gaz się rozprężył (V_3).

17. Gdy pomiar zostanie zakończony odłożyć strzykawkę do pojemnika.

18. Otworzyć tabele pomiarowe dla każdego wykresu (klikając podwójnie w ikonę **Table** na panelu znajdującym się z prawej strony ekranu, Rys.PASCO.6). Wybrać z listy odpowiednie wielkości fizyczne (pierwszy wykres - Time i Pressure, drugi wykres - Time i Temperature, jak na RYS.PASCO.7).



19. Odszukać w tabelach i zanotować wartości ciśnień i temperatur odpowiadające wybranym etapom eksperymentu:

- a) p_1 i T_1 – wartości początkowe (dla $V_1 = 50$ ml);
- b) p_2 i T_2 – wartości dla gazu maksymalnie sprężonego (przy objętości V_2);
- c) p_3 i T_3 – wartości po swobodnym rozprężeniu (dla objętości V_3).

20. Zanotować dokładności przyrządów: ΔV (odczytać ze strzykawki), Δp (wyznaczyć na podstawie danych z tabeli), ΔT (wyznaczyć na podstawie danych z tabeli).

21. Jeżeli podczas wykonywania ćwiczenia dojdzie do niekontrolowanego zwolnienia tłoka lub innych niepożądanych ruchów pomiary należy powtórzyć. Można również wykonać je kilkakrotnie i wybrać te o najwyższej precyzji.

22. Zapisać dane lub wyeksportować do formatu umożliwiającego dalszą analizę.

Zadanie 2. Badanie zależności ciśnienia gazu p od objętości V przy stałej temperaturze T ($T = \text{const.}$).

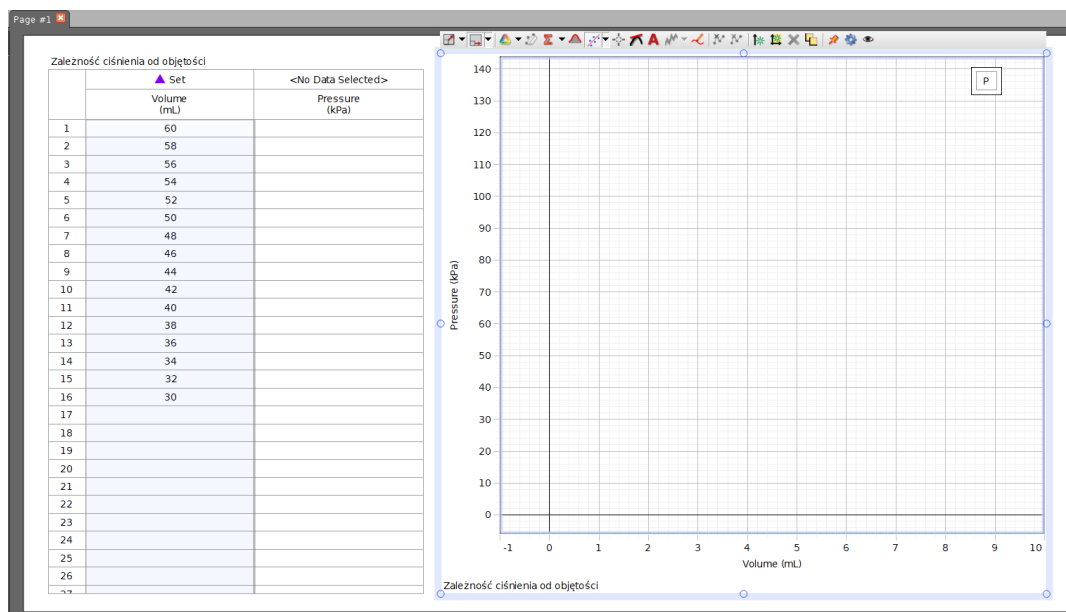
W trakcie tego ćwiczenia gaz będzie najpierw ściskany w zadanym przedziale objętości, a podłączona sonda będzie mierzyła ciśnienie. Następnie rejestrowane będzie ciśnienie w trakcie rozprężania gazu. W tym celu niezbędne będzie stworzenie dwóch arkuszy pomiarowych z tabelami i wykresami oraz ustawienie panelu sterowania pomiarem na tryb wyboru (Keep Mode).

1. Wybrać w programie PASCO Capstone zakładkę Classic Template (jak na Rys. PASCO.1).
2. Uruchomić szablon zaznaczony zieloną ramką zawierający tabelę pomiarową i wykres (jak na Rysunku 5).



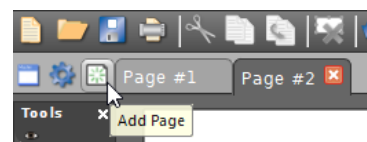
Rys. 5. Szablon z zakładki Classic Template do Zadania 2.

2. Przygotować tabelę pomiarową i opisać osie na wykresie zgodnie ze schematem (Rys.6). Do pierwszej kolumny (Volume (ml)) wpisać wartości objętości, dla których mierzone będzie ciśnienie. Zakres pomiaru: 60 – 30 ml (co 2 ml). Sposób wyboru wielkości opisany jest w Instrukcji oprogramowania PASCO Capstone (Rys.PASCO.7).



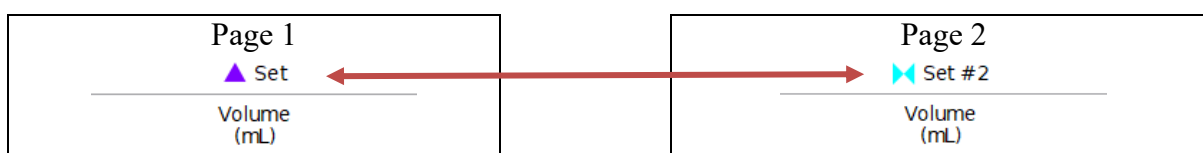
Rys. 6. Schemat szablonu tabeli pomiarowej i wykresu do Zadania 2.

3. Następnie dodać nową stronę z tabelą i wykresem, używając funkcji Add Page (Rys.PASCO.8).



4. Opisać kolumny oraz osie analogicznie jak dla pierwszego zestawu, przy czym wartości objętości wpisać w kolejności rosnącej od 30 ml do 60 ml (co 2 ml).

Uwaga!!! Oznaczenia (symbole) dla objętości każdej serii w arkuszach muszą być inne, na przykład:



Wyboru symbolu dokonuje się poprzez kliknięcie opcji *Create New User- Entered Data Set* w oknie o nazwie Set.

5. W panelu sterowania pomiarem ustawić rejestrację danych w trybie wyboru (**Keep Mode**) oraz parametr **Common Rate** na częstotliwość **10 Hz** (Rys.PASCO.2b). Powtórzyć tę czynność dla drugiego okna pomiarowego.

6. Rozłączyć sondę ciśnienia od strzykawki, ustawić tłok w pozycji **60 ml** i z powrotem podłączyć sondę.

7. Chwycić oburącz strzykawkę (jak pokazano na Rys. 4). Włączyć rejestrowanie danych przyciskiem **Preview** (Rys.PASCO.2b). W tym momencie sonda dokonuje pomiaru, ale go nie zapisuje (w oknie tabeli można zaobserwować pojawiające się wartości mierzonego ciśnienia).

8. W celu zapisania danych w tabeli wcisnąć przycisk **Keep Sample**. W tym momencie następuje zapisanie pomiaru dla wybranej objętości i przekierowanie rejestracji danych do kolejnego wiersza w tabeli.

9. Ścisnąć gaz do **58 ml** i zebrać dane wartości ciśnienia odpowiadające tej objętości (wcisnąć przycisk **Keep Sample**). Pomiary wykonać dla kolejnych wartości objętości (do 30 ml).

10. Trzymając tłok w pozycji 30 ml (gaz sprężony) zakończyć pomiary wciskając przycisk **Stop**.

11. Trzymając tłok ściśnięty przełączyć się na drugi arkusz i powtórzyć pomiary ciśnienia dla gazu w trakcie rozprężania:

- włączyć rejestrowanie danych (**Preview**),
- zapisać wartość ciśnienia dla objętości 30 ml (przycisk **Keep Sample**),
- delikatnie zwolnić tłok o 2 ml w górę (rozprężać gaz) i zapisać wartość ciśnienia dla tej objętości,
- rejestrować wartości ciśnień mierzonych przez sondę dla kolejnych wartości objętości (do 60 ml).

12. Zakończyć pomiary wciskając przycisk **Stop**.

13. Zapisać dane lub wyeksportować do formatu umożliwiającego dalszą analizę.

14. Zanotować dokładności przyrządów: ΔV (odczytać ze strzykawki), Δp (wyznaczyć na podstawie danych z tabeli).

15. Jeżeli podczas wykonywania ćwiczenia dojdzie do niekontrolowanego zwolnienia tłoka lub innych niepożądanych ruchów pomiary należy powtórzyć. Można również wykonać je kilkakrotnie i wybrać te o najwyższej precyzji.

3. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Zadanie 1. Badanie zależności ciśnienia, temperatury i objętości gazu.

1. Przeanalizować otrzymane charakterystyki $p(t)$ oraz $T(t)$, opisać zależności w odniesieniu do wykonywanych ruchów tłoka.

2. Korzystając z równania Clapeyrona, obliczyć liczbę moli gazu n_i , który poddawany był sprężaniu i rozprężaniu dla trzech wskazanych etapów eksperymentu:

- gaz w warunkach początkowych: $V_1 = 50 \text{ ml}$, p_1 i T_1 – odczytane z tabel do wykresów;
- gaz maksymalnie sprężony: V_2 – odczytane ze strzykawki, p_2 i T_2 – odczytane z tabel do wykresów;
- gaz rozprężony: V_3 – odczytane ze strzykawki, p_3 i T_3 – odczytane z wykresów.

3. Wyznaczyć wartość średnią n_{sr} .

4. Oszacowań niepewność maksymalną wyznaczenia liczby moli $u(n)$.
5. Sformułować wnioski.

Zadanie 2. Badanie zależności ciśnienia gazu p od objętości V przy stałej temperaturze T ($T = \text{const.}$).

1. Porównać charakterystyki dla gazu w trakcie sprężania i rozprężania.
2. Sprawdzić stosowalność prawa Boyle'a-Mariotte'a. W tym celu przedstawić na jednym wykresie zależność ciśnienia gazu p od odwrotności objętości V ($p = f(1/V)$) dla uśrednionych wartości z dwóch pomiarów.
3. Do punktów pomiarowych dopasować odpowiednią zależność.
4. Nanieść na wykres niepewności pomiarowe w postaci tzw. krzyży niepewności. Dla objętości należy przyjąć błąd eksperymentatora, a dla wartości ciśnienia dokładność sondy.
5. Sformułować wnioski.

4. LITERATURA

- I. W. Sawieliew, Wykłady z fizyki t.II
Sz. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna t.I
T. Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki
H. Szydłowski, Pracownia fizyczna