

Imię

Data

Nazwisko

Kierunek studiów

Ćwiczenie 107: Przemiany gazowe

Tabela I: Część 107a - Prawo Boyle'a

Temperatura gazu przed sprężeniem $t_p = \dots\dots\dots$ °C, $T_p = \dots\dots\dots$ K

Początkowa objętość strzykawki ml

V, [ml]	1/V, [ml ⁻¹]	p, [kPa]	p·V, [kPa·ml]

Temperatura gazu po sprężeniu $t_k = \dots\dots\dots$ °C, $T_k = \dots\dots\dots$ K

Tabela II: Część 107b - Przemiana izochoryczna, Charles' Law

t	[°C]								
p	[kPa]								
t	[°C]								
p	[kPa]								

Rzędna punktu przecięcia prostej z osią ciśnienia b =

Wartość współczynnika nachylenia prostej m =

Wyznaczona temperatura zera bezwzględnego $t_0 = \dots\dots\dots$ °C, $T_0 = \dots\dots\dots$ KTablicowa temperatura zera bezwzględnego $t_{tab} = \dots\dots\dots$ °C, $T_{tab} = \dots\dots\dots$ K

Ćwiczenie 107: PRZEMIANY GAZOWE

Cel

Ćwiczenie 107 składa się z dwóch części 107a i 107b.

Celem ćwiczenia w części 107a jest sprawdzenie *prawa Boyle'a* - zbadany zostanie związek pomiędzy ciśnieniem i objętością próbki powietrza w stałej temperaturze. Celem ćwiczenia w części 107b jest sprawdzenie zależności ciśnienia gazu od temperatury, przy stałej objętości gazu oraz wyznaczenie teoretycznej granicy niskiej temperatury. Teoretyczna wartość najniższej temperatury nazywana jest *zerem absolutnym*.

Teoria

Aby opisać przemiany, jakim podlegają gazy, wprowadzono pojęcie *gazu doskonałego*. Gazem doskonałym nazywa się taki gaz, którego cząsteczki nie oddziałują między sobą.

Energia wewnętrzna każdego ciała jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej cząsteczek, z których jest ono zbudowane. Jeżeli odległości między cząsteczkami są duże, to oddziaływanie między cząsteczkami jest słabe. Gaz doskonały jest przybliżeniem gazu rzeczywistego, w którym zaniedbano oddziaływania na odległość pomiędzy cząsteczkami i związaną z nimi energię potencjalną. Cząsteczki gazu doskonałego traktujemy jako bardzo małe, doskonale sprężyste kulki, które doznają zderzeń pomiędzy sobą i ściankami naczynia. Energia wewnętrzna gazu doskonałego wynika jedynie z energii kinetycznej cząsteczek, która zależy tylko od temperatury. W warunkach pokojowych gazy rzeczywiste dobrze spełniają przybliżenie gazu doskonałego, a odstępstwa od tej idealizacji obserwuje się przy zwiększonym ciśnieniu lub w niskich temperaturach.

Stan gazu jako substancji możemy opisać podając 3 wielkości fizyczne, które mogą być doświadczalnie określone. Są nimi ciśnienie p , objętość V i temperatura T gazu.

Równanie stanu gazu doskonałego.

W ogólnym przypadku, gdy przy stałej masie gazu zmieniają się wszystkie trzy wielkości fizyczne charakteryzujące gaz, tzn. V , p i T , związek pomiędzy nimi można zapisać następująco:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

lub ogólniej

$$\boxed{\frac{pV}{T} = \text{constans}}.$$

W tym wzorze temperatura musi być wyrażona w kelwinach.

Często ilość gazu wyrażana jest w *molach*. *Mol jest to ilość materii równa masie $6,02 \cdot 10^{23}$ cząsteczek danego pierwiastka lub związku chemicznego.*

Podana liczba $N_0 = 6,02 \cdot 10^{23}$ cząsteczek danego pierwiastka nosi nazwę *liczby Avogadra* i jest równa liczbie atomów zawartych w 12 g izotopu węgla ^{12}C . Masa 1 mola odpowiada masie atomowej lub cząsteczkowej substancji wyrażonej w gramach.

Stałą w równaniu stanu gazu można łatwo obliczyć, ponieważ 1 mol gazu zajmuje objętość $V_m = 22,4 \text{ dm}^3$, pod ciśnieniem $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$ i w temperaturze $T_0 = 273,15 \text{ K}$ (są to tak zwane warunki normalne). Podstawiamy te dane do równania stanu n moli gazu:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot n V_m}{T_0} = n \frac{p_0 \cdot V_m}{T_0} = nR, \quad \text{gdzie } R = \frac{p_0 \cdot V_m}{T_0}.$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymamy $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.

R jest ważną stałą fizyczną – nosi ona nazwę *stałej gazowej*. Równanie stanu gazu doskonałego dla n moli może, więc, być zapisane w postaci

$$pV = nRT.$$

Tak zapisane równanie stanu gazu nosi nazwę **równania Clapeyrona**. Jeżeli przez m oznaczymy masę gazu, przez μ – masę cząsteczkową, to $n = m/\mu$.

Z ogólnego równania stanu gazu wynikają szczególne zależności pomiędzy dwiema z trzech wielkości, gdy jedna z nich jest stała. Zależności te znane są jako prawa przemian gazowych.

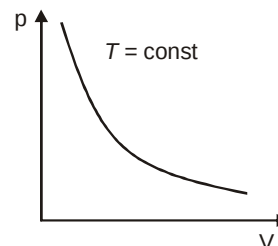
Przemiana izotermiczna

W przemianie izotermicznej temperatura gazu jest stała. Wówczas iloczyn ciśnienia danej masy gazu i jego objętości jest wielkością stałą:

$$\text{dla } T = \text{const}, \quad pV = \text{const}$$

Związek ten nosi nazwę *prawa Boyle'a i Mariotte'a*. Wykres przemiany izotermicznej nazywa się *izotermą*.

Z prawa B–M wynika, że dla gazu doskonałego w stałej temperaturze, ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości.



Przemiana izobaryczna

W przemianie izobarycznej wielkością stałą, oprócz masy gazu, jest ciśnienie. W tej przemianie iloraz objętości i temperatury gazu jest wielkością stałą:

$$\text{dla } p = \text{const}, \quad \frac{V}{T} = \text{const}.$$

Z równań na przemianę izobaryczną wynika liniowa zależność między objętością i temperaturą gazu. Zależność ta jest znana jako *prawo Gay-Lussaca*.

Spróbujmy wyrazić wzór dla przemiany izobarycznej, gdy temperatura jest w skali Celsjusza:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \frac{V_0}{273,15} \Rightarrow V = V_0 \frac{T}{273,15} = V_0 \frac{t + 273,15}{273,15} = V_0 \left(1 + \frac{1}{273,15} t\right).$$

Jeśli oznaczymy, $\beta = \frac{1}{273,15} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, to otrzymamy znany wzór na rozszerzalność objętościową

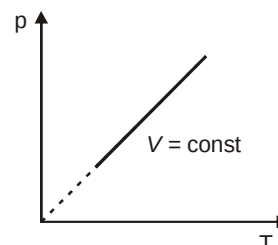
$$V = V_0(1 + \beta t).$$

We wzorze tym V_0 oznacza objętość gazu w temperaturze 0°C , a β wartość współczynnika rozszerzalności objętościowej, który ma jednakową wartość dla każdego gazu.

Przemiana izochoryczna

Trzecią przemianą gazu doskonałego jest przemiana izochoryczna. Przy stałej masie gazu oraz stałej objętości, iloraz ciśnienia i temperatury jest wielkością stałą:

$$\text{dla } V = \text{const}, \quad \frac{p}{T} = \text{const}$$

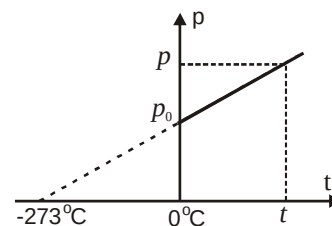


Zależność ta nosi nazwę *prawa Charlesa*. Gdy temperaturę wyrazimy w stopniach Celsjusza, otrzymamy:

$$p = p_0(1 + \gamma t).$$

Tutaj p_0 oznacza ciśnienie gazu w temperaturze 0°C , a γ jest współczynnikiem prężności, który ma jednakową wartość dla każdego gazu, taką samą jak β .

Rysunek obok pokazuje, jak na podstawie prostego pomiaru zależności temperaturowej ciśnienia gazu można sprawdzić wartość temperatury zera absolutnego w stopniach Celsjusza — należy w tym celu przedłużyć wykres ciśnienia, aż przetnie on oś temperatury.



Wykonanie ćwiczenia

Część 107a - Sprawdzanie prawa Boyle'a

POTRZEBNE WYPOSAŻENIE	
Komputer z oprogramowaniem „SPARKvue”	Czujnik temperatury - PASCO wireless temp link
Czujnik ciśnienia - PASCO wireless pressure	Układ strzykawka-czujnik temperatury

W tej części doświadczenia sprawdzimy czy, zgodnie z prawem Boyle'a, dla stałej masy gazu w stałej temperaturze ciśnienie jest odwrotnie proporcjonalne do objętości.

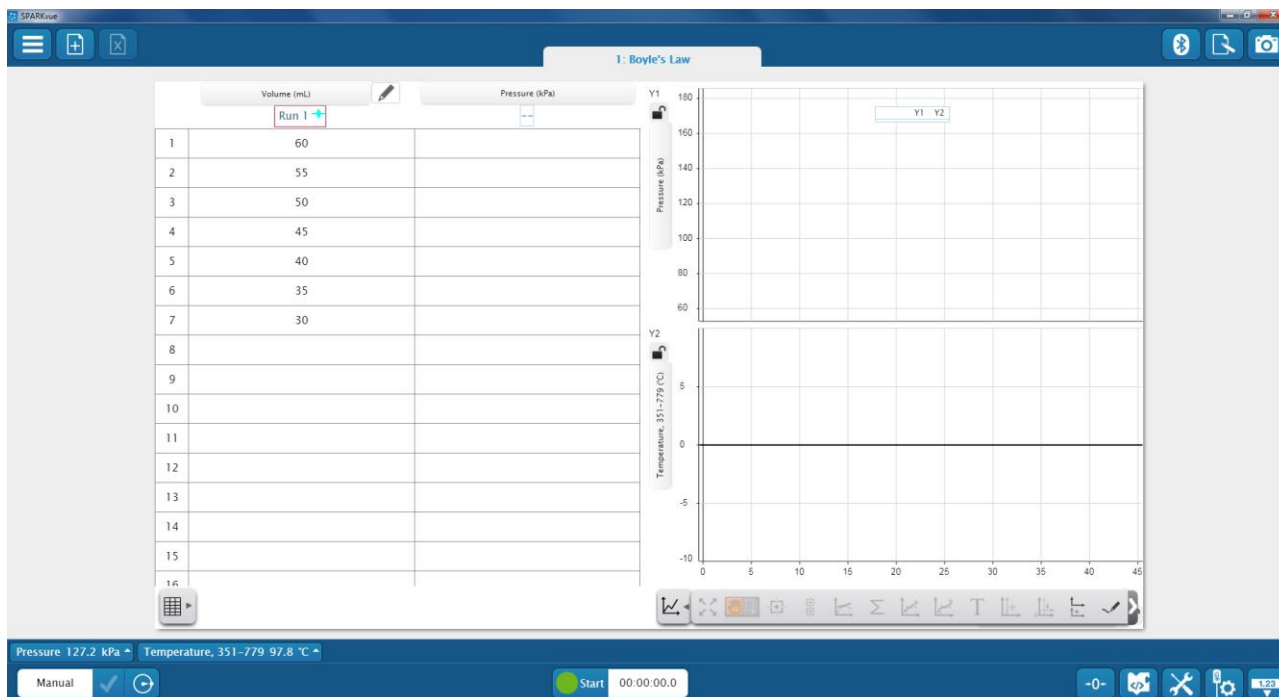
Przygotowanie komputera – nie zapisuj zmian w plikach (DON'T SAVE)

1. Włącz zasilanie stołu (patrz deska rozdzielcza stołu – przy Twojej lewej nodze gdy siedzisz na wprost komputera) – przekręć czerwoną „gałkę” w kierunku strzałek (powinna wyskoczyć), przekręć kluczyk jak w samochodzie i puść. Włącz komputer.
2. Automatycznie uruchomi się system operacyjny Windows. Zaloguj się naciskając ikonę użytkownika **107**. Włącz zasilanie czujników: PASCO wireless **pressure**, i PASCO wireless **temp link**. Czujniki wyłączają się gdy są nie używane. Na środku pulpitu znajduje się skrót 107a – uruchamia program „SPARKvue” wraz z plikiem obsługującym ćwiczenie – uruchom! Rozwiń okno do pełnego ekranu.
3. Naciśnij ikonę Bluetooth (prawy górny róg okna). Podłącz czujnik temperatury (351-779 Temperature) i ciśnienia (135-338 Pressure) klikając go w oknie urządzeń. Po prawidłowym dodaniu kliknij „Done”. Prawidłowe podłączenie czujników przedstawia zdjęcie poniżej. **Innych czujników nie podłączaj!**



Okno ćwiczenia 107a

Okno podstawowe „**Boyle' Law**” — zawiera przyciski sterowania, tabelę, wykres zależności ciśnienia od objętości i wykres zmian temperatury powietrza w układzie strzykawki. Wartości liczbowe będą zmieniały się automatycznie podczas pomiarów.



Przygotowanie układu pomiarowego 107a

1. Przed podłączeniem, tłok strzykawki ustaw na objętości 60 ml.
2. Podłącz wtyczkę na końcu **zielonego** przewodu plastikowego, wychodzącego z czujnika ciśnienia - PASCO wireless **pressure** do układu strzykawki.
3. Podłącz czujnik temperatury – **srebrny** przewód mini stereo jack do czujnika temperatury - PASCO wireless **temp link**.

UWAGA! Sprawdź czy srebrny mini stereo jack jest wciśnięty do końca. Nieprawidłowe podłączenie powoduje błędne wskazania temperatury.



Przebieg i rejestracja pomiarów 107a

1. Naciśnij przycisk „Start” (gdy jest aktywne zbieranie danych wyświetla się czerwony kwadrat i odliczany jest czas).
2. Przy objętości 60 ml zatwierdź pierwszy pomiar klikając zielony ptaszek obok „Manual”

3. Zmieniaj objętość strzykawki co 5 ml i każdorazowo zatwierdź pomiar.
4. Aby zakończyć pomiary naciśnij „Stop”.
5. Odłącz **zielony** przewód plastikowy od strzykawki i przewód mini stereo jack od czujnika temperatury.

Analiza danych 107a

1. Wykorzystaj przycisk „Scale to fit” do dopasowania wykresów do okien.
2. Odczytaj temperaturę gazu przed i po sprężeniu powietrza. Wartość początkowej t_p i końcowej t_k temperatury zapisz w tabeli. Wartości te odczytaj z wykresu zależności temperatury od objętości klikając odpowiedni punkt - wyświetli się możliwość „Add coordinates tool”.
3. Wypełnij tabelę odpowiednimi danymi z tabeli otrzymanej podczas doświadczenia.
4. Wykonaj obliczenia iloczynu ciśnienia i objętości dla każdej wartości objętości. Opisz wnioski z uzyskanych danych liczbowych i z wykresów.

Część 107b - Przemiana izochoryczna gazu, Charles' Law

POTRZEBNE WYPOSAŻENIE	
• Komputer z oprogramowaniem „SPARKvue”	• Czujnik temperatury - PASCO wireless temp link
• Czujnik ciśnienia - PASCO wireless pressure	• Metalowa sfera z układem podgrzewającym

W tej części doświadczenia zbadana zostanie przemiana izochoryczna — gaz zamknięty w sztywnym pojemniku (metalowa sfera) o stałej objętości będzie podgrzewany od temperatury pokojowej do temperatury około 70°C. Uzyskany wykres przemiany powinien być linią prostą, co umożliwia sprawdzenie teoretycznej granicy niskich temperatur.

Przygotowanie komputera – nie zapisuj zmian w plikach (DON'T SAVE)

1. Zamknij poprzednie okno.
2. Włącz zasilanie czujników: PASCO wireless **pressure**, i PASCO wireless **temp link**. *Jeśli są uśpione lub wyłączone*. Czujniki wyłączają się gdy są nie używane. Na środku pulpitu znajduje się skrót 107b – uruchamia program „SPARKvue” wraz z plikiem obsługującym ćwiczenie – uruchom! Rozwiń okno do pełnego ekranu.
3. Naciśnij ikonę Bluetooth (prawy górny róg okna). Podłącz czujnik temperatury (351-779 Temperature) i ciśnienia (135-338 Pressure) klikając go w oknie urządzeń. Po prawidłowym dodaniu kliknij „Done”. Prawidłowe podłączenie czujników przedstawia zdjęcie z wcześniejszej części ćwiczenia. **Innych czujników nie podłączaj!**

Okna ćwiczenia 107b

Okno podstawowe „Charles’ Law” — zawiera przyciski sterowania, tabelę, wykres zależności ciśnienia od temperatury. Wartości liczbowe będą zmieniały się automatycznie podczas pomiarów.



Przygotowanie układu pomiarowego 107b

Układ eksperymentalny stanowi metalowy sferyczny zbiornik z powietrzem w kształcie kuli, w którego wylotach umieszczone są czujniki ciśnienia i temperatury. Całość, na stałe, umieszczona jest w elektrycznym podgrzewaczu. **Nie wolno demontować lub zmieniać połączeń układu!**

1. Podłącz wtyczkę na końcu **przezroczystego** przewodu plastikowego, wychodzącego z metalowej sfery, do **zielonego** przewodu plastikowego wychodzącego z czujnika ciśnienia - PASCO wireless **pressure**.
2. **Czarny** przewód mini stereo jack wychodzący z metalowej sfery podłącz do czujnika temperatury - PASCO wireless **temp link**.

Sprawdź czy czarny mini stereo jack jest wciśnięty do końca. Nieprawidłowe podłączenie powoduje błędne wskazania temperatury.

Przebieg i rejestracja pomiarów 107b

1. Włącz grzanie sfery – **przełącznik na listwie**. Odczekaj 3 minuty w celu ustabilizowania warunków pomiaru.
2. Naciśnij przycisk „Start” (gdy jest aktywne zbieranie danych wyświetla się czerwony kwadrat i odliczany jest czas). Pomiary będą zbierane co 30 sekund.
3. Kontynuuj pomiar, aż gaz w sferze osiągnie temperaturę ok. 80°C. Śledź wartości temperatury w tabeli!
4. Naciśnij „Stop”, aby zakończyć rejestrację danych.
5. Wyłącz grzanie sfery – **przełącznik na listwie**.

BARDZO WAŻNE! Poinformuj prowadzącego, że została zakończona część 107b ćwiczenia. Prowadzący sprawdza czy układ grzania został wyłączony.

Analiza danych 107b

1. Teraz pracujemy w oknie wykresu. W pasku funkcyjnym „łapka”  powinna być podświetlona na pomarańczowo.
2. Najedź kursorem na oś temperatury. Przytrzymując lewy klawisz myszki i przesuując go w lewo lub prawo dopasuj zakres tej osi od około „-300” jako minimum do „+100” jako maksimum.
3. Po najechaniu kursorem na pole wykresu przesuując w lewo lub prawo możesz zmienić położenie punktów doświadczalnych.
4. Podobnie postępuj z dopasowaniem osi ciśnienia tak by jej zakres był od około „-30” jako minimum do „+130” jako maksimum.
5. Podobnie jak wcześniej, po najechaniu kursorem na pole wykresu przesuując w dół lub górę możesz zmienić położenie punktów doświadczalnych.
6. Do punktów pomiarowych dopasuj linię prostą wykorzystując przycisk funkcyjny „Show/hide linear fit”.
7. Współrzędna punktu przecięcia osi temperatury z przedłużeniem dopasowania linii prostej jest przybliżoną wartością doświadczalną *temperatury zera bezwzględnego* t_0 , odpowiadającą zerowej wartości ciśnienia gazu idealnego. Współrzędna osi ciśnienia w tym przypadku wynosi zero ($y = 0$).
8. Na podstawie danych zawartych w polu statystyki dla dopasowanej prostej, oblicz współrzędną przecięcia osi temperatury (x) przekształcając odpowiednio równanie $y = mx + b$. Wartość rzędnej b oraz nachylenie tej prostej — współczynnik m odczytaj z pola statystyki. Jeżeli oznaczmy t_0 jako współrzędną punkt x , dla którego $y = 0$, to $t_0 = -\frac{b}{m}$. Obliczona wartość jest równa wartości t_0 odczytanej bezpośrednio z wykresu.
9. Uzupełnij tabelę ćwiczenia danymi z okna tabeli.