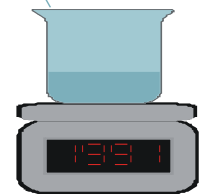


KATEDRA FIZYKI

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA
FIZYKI CZĄSTECZKOWEJ I CIEPŁA***



ĆWICZENIE NR C-7

SPRAWDZANIE PRAWA BAROMETRYCZNEGO

I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Kinetyczna teoria gazu;
2. Równanie stanu gazu doskonałego;
3. Ciśnienie atmosferyczne;
4. Wzór barometryczny;
5. Rozkład Maxwela-Boltzmana;
6. Metoda regresji liniowej.

II. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest sprawdzenie prawa barometrycznego poprzez wyznaczenie zależności ilości cząstek (kulek), jako funkcji wysokości i częstotliwości drgającej płytki.

III. Wprowadzenie teoretyczne

Zachowanie gazów opisujemy posługując się pojęciem tzw. gazu doskonałego. Cząsteczki takiego gazu posiadają następujące własności:

- są punktami materialnymi o takiej samej masie;
- zderzają się ze sobą doskonale sprężysto;
- poruszają się w przestrzeni, z prędkościami proporcjonalnymi do temperatury i żaden kierunek nie jest wyróżniony.

Chociaż własności gazów rzeczywistych, takich jak hel, tlen, azot, dwutlenek węgla czy powietrze odbiegają od tych założeń, to jednak ich zachowanie, przynajmniej jeśli ich gęstość jest mała, przypomina zachowanie gazu doskonałego.

Stan gazu opisuje się za pomocą trzech parametrów stanu: ciśnienia p [Pa], temperatury T [K] i objętości V [m³]. Ich związek opisuje równanie gazu doskonałego:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const} \quad (1)$$

Ćwiczenie C-7: Sprawdzanie prawa barometrycznego

Wartość stałej po prawej stronie równania zależy od tego, ile gazu znajduje się w objętości V . Można ją określić, podając liczbę moli n_{mol} . Wtedy równanie stanu gazu doskonałego można napisać w postaci, którą nazywa się równaniem Clapeyrona:

$$pV = n_{mol}RT \quad (2)$$

gdzie: $R = 8,31 \frac{J}{K \cdot mol}$ jest stałą gazową.

Wiadomo, że 1 mol dowolnego gazu zawiera stałą liczbę cząstek, zwaną liczbą Avogadra $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ cząstek/mol. Równanie (2) można też zapisać w postaci:

$$pV = NkT \quad (3)$$

gdzie: $k = R / N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} J / K$ nosi nazwę stałej Boltzmana, a $N = N_A n_{mol}$ - liczba cząstek gazu.

Dzieląc obustronnie powyższe równanie przez objętość gazu, otrzymujemy:

$$p = nkT \quad (4)$$

gdzie: n - liczba cząsteczek w jednostce objętości.

Różniczkując (3) względem n i porównując otrzymany wynik do różnicy ciśnień warstwy leżącej na wysokości dh , mamy:

$$kTdn = -mgndh \quad (5)$$

Stąd po przekształceniu otrzymujemy:

$$\frac{dn}{n} = -\frac{mg}{kT} dh \quad (6)$$

Całkując powyższą zależność w granicach od 0 do h , otrzymujemy:

$$n = n_0 \exp\left[-\frac{mgh}{kT}\right] \quad (7)$$

Wzór ten wyraża prawo izotermicznego rozkładu cząstek w jednorodnym polu grawitacyjnym. Mnożąc otrzymany wzór obustronnie przez kT i przyjmując, że ciśnienie na powierzchni Ziemi ($h=0$) wynosi $n_0kT = p_0$, otrzymujemy:

$$p = p_0 \exp\left[-\frac{mgh}{kT}\right] \quad (8)$$

Wzór (8) nosi nazwę wzoru barometrycznego. Poprawne wyniki ciśnienia wyznaczonego według tego wzoru otrzymujemy tylko dla stosunkowo małych wysokości, gdyż przy jego wyprowadzeniu nie uwzględniliśmy spadku temperatury powietrza ze wzrostem wysokości oraz zmniejszenia się przyspieszenia ziemskiego.

IV. Metoda pomiaru

Doświadczenie sprawdzenie prawa barometrycznego przeprowadza się przy pomocy specjalnie skonstruowanego układu przedstawianego na rys.1.



Rys.1 Układ eksperymentalny dla wyznaczenia prawa barometrycznego.

Jego najważniejszym elementem jest aparatura kinetycznej teorii gazu rys. 2 zawierająca niewielką ilość stalowych kulek (około 400 sztuk). Wewnątrz tej aparatury znajdują się tłok -1 ustawiony na maksymalną objętość gazu. Szybkość ruchu obrotowego – i stąd częstotliwość drgań – regulowane są za pomocą napięcia zasilającego i pomiaru lampą stroboskopową tak, aby uzyskać stały obraz drgającej płytki-2 .



Rys.2 Aparatura kinetycznej teorii gazu

Stalowe kulki są przyspieszane za pomocą drgającej płytki i uzyskują różne prędkości. Wyznaczamy ilość kulek, jako funkcję wysokości, na której dokonujemy pomiaru zliczania kulek, przy ustalonej częstotliwości drgań płytki oraz częstotliwości drgań przy ustalonej wysokości.

V. Przebieg ćwiczenia

1. Sprawdzić czy zestawienie układu pomiarowego jest zgodne z rysunkiem nr 1 i zidentyfikować wszystkie jego elementy.
2. Włączyć lampę stroboskopową i ustawić częstotliwość 50 Hz
3. Następnie ustawić wysokość, na której będziemy zliczać ilość przelatujących kulek (zgodnie z tabelą pomiarową nr 1).
4. Dobrać napięcie na zasilaczu tak, aby obraz płytki był nieruchomy (patrzac na płytkę mamy wrażenie, że się ona nie rusza).
5. Przy tak dobranych parametrach zliczamy ilość przelatujących kulek w czasie 30 sekund.
6. Po poprawnym wykonaniu pomiaru (punkty 2-5) należy ustawić stałą wysokość zliczania na 8 cm.
7. Zmieniając częstotliwość dobierać napięcie zasilające w taki sposób, aby obraz płytki był nieruchomy, a następnie zliczać ilość kulek zgodnie z tabelą pomiarową nr 2.

VI. Tabele pomiarowe

Tabela nr 1

L.p.	h [cm]	n
1	4	
2	5	
3	6	
4	7	
5	8	
6	9	
7	10	
8	11	
9	12	
10	13	
11	14	
12	15	
13	16	

Tabela nr 2

L.p.	v [rpm]	n
1	1998	
2	2202	
3	2382	
4	2598	
5	2802	

VII. Opracowanie wyników

1. Na podstawie uzyskanych wyników należy sporządzić wykresy $\ln n = f(h)$ oraz $\ln n = f(v)$
2. Z uwagi na to, że oczekiwana zależność $\ln n = f(h)$ oraz $\ln n = f(v)$ można przedstawić w postaci funkcji liniowej $y = ax+b$, to za pomocą programu REGRESJA możemy policzyć parametry najlepiej dopasowanych prostych .

VIII. Rachunek błędu i dyskusja wyników

1. Przedyskutować otrzymane wyniki i przebieg eksperymentu.

Literatura

1. Borowski Cz. „Fizyka - krótki kurs”, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1995;
2. Halliday D., Resnick R., Walker J., „Podstawy fizyki”, cz. 2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005;
3. Jeżewski M., „Fizyka”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1966.;
4. Massalski J., Massalska M., „Fizyka dla inżynierów” cz. 1 Fizyka klasyczna, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1975;

Zasada sporządzania wykresów

Prawidłowe opracowanie wyników pomiarów wymaga wykonania odpowiedniego wykresu. Podczas robienia wykresu należy kierować się następującymi zasadami:

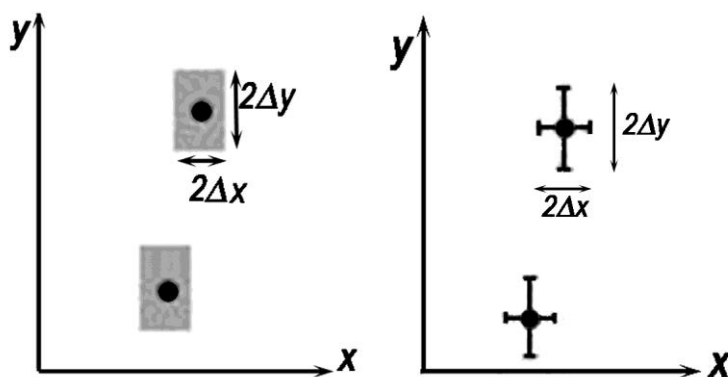
1. Wykres wykonuje się na papierze milimetrowym. Na układzie współrzędnych definiujemy liniowe osie liczbowe w przedziałach zgodnych z przedziałami zmienności wartości X i Y ; oznacza to, że na każdej z osi odkładamy tylko taki zakres zmian mierzonej wielkości fizycznej, w którym zostały wykonane pomiary. Nie ma zatem obowiązku odkładania na osiach punktów zerowych, gdy nie było w ich okolicy punktów pomiarowych (chyba, że w dalszej analizie konieczne będzie odczytanie wartości Y dla $X=0$). Skalę na osiach układu наносimy zazwyczaj w postaci równooddalonych liczb. Ich wybór i gęstość na osi musi zapewniać jak największą prostotę i wygodę korzystania z nich.

Na osiach wykresu muszą być umieszczone odkładane wielkości fizyczne i ich jednostki lub wymiary.

2. Punkty наносimy na wykres tak, by były wyraźnie widoczne, zaznaczamy je kółkami, trójkątami, kwadracikami itp. Na rysunku należy zaznaczyć również niepewności pomiarowe w postaci prostokątów lub odcinków.

Graficzne przedstawienie niepewności systematycznej:

Załóżmy, że wartości x i y otrzymane z pomiarów są obarczone odpowiednio niepewnościami Δx i Δy . Oznacza to, że rzeczywiste wartości tych wielkości mieszczą się w przedziałach od $x - \Delta x$ do $x + \Delta x$ oraz od $y - \Delta y$ do $y + \Delta y$. Na wykresie zależności $Y(X)$ przedziały te wyznaczają wokół punktów (x, y) prostokąty o bokach $2\Delta x$ i $2\Delta y$. Niepewności te można również zaznaczać wokół punktu pomiarowego (x, y) poprzez odcinki o długości $2\Delta x$ i $2\Delta y$ (rys.1)



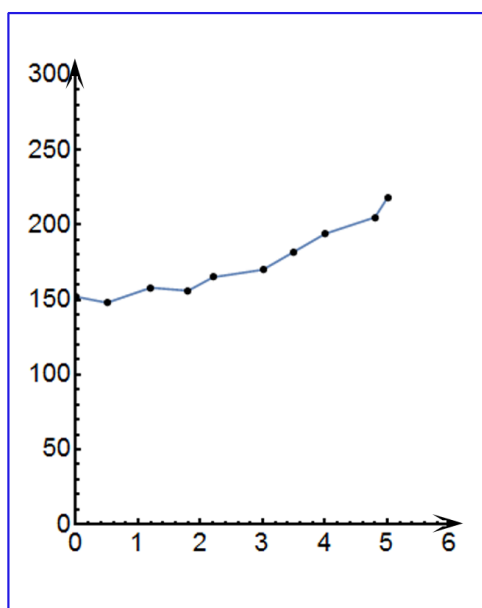
Rys.1 Zaznaczanie niepewności wokół punktów pomiarowych.

Uwaga: Jeżeli wartość zmiennej X jest dokładnie znana (czyli $\Delta x=0$), to na wykresie zaznaczamy tylko niepewności na osi zmiennej zależnej (na osi y).

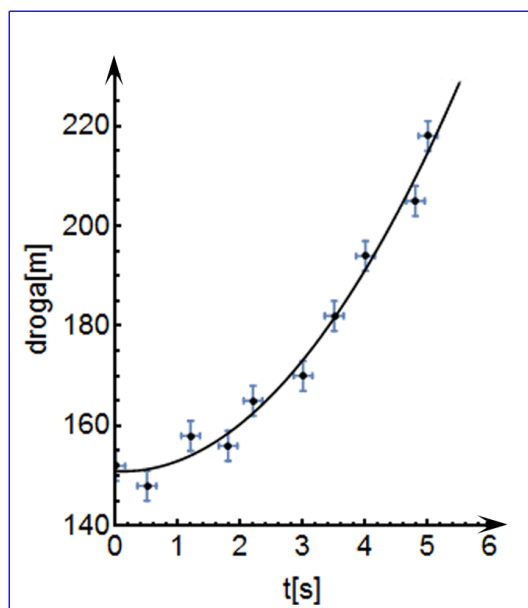
3. Rozmiar wykresu nie jest dowolny i nie powinien wynikać z tego, że dysponujemy takim, a nie innym kawałkiem papieru (na rys.2 arkusz papieru milimetrowego zaznaczony jest kolorem niebieskim). Rozmiar powinien być określony przez niepewności pomiarowe tych wielkości, które odkłada się na osiach. Niepewność ta powinna w wybranej skali być odcinkiem o łatwo zauważalnej, znaczącej długości.

- Następnie prowadzimy odpowiednią krzywą (nie może to być linia łamana!) tak, by przecinała w miarę możliwości punkty pomiarowe, ale nie należy dążyć do tego, aby przechodziła ona przez wszystkie punkty, ponieważ każdy z nich obarczony jest niepewnością. W przypadku dużych rozrzutów staramy się, by ilość punktów poniżej i powyżej krzywej była zbliżona - w ten sposób uśredniamy graficznie wyniki pomiarów. W przypadku zależności nieliniowych korzystamy z krzywików.
- Każdy rysunek powinien być podpisany. Etykieta wykresu wyjaśnia, co rysunek zawiera, co reprezentują zaznaczone krzywe.

PODSUMOWANIE:



zły wykres



dobry wykres

Rys.2