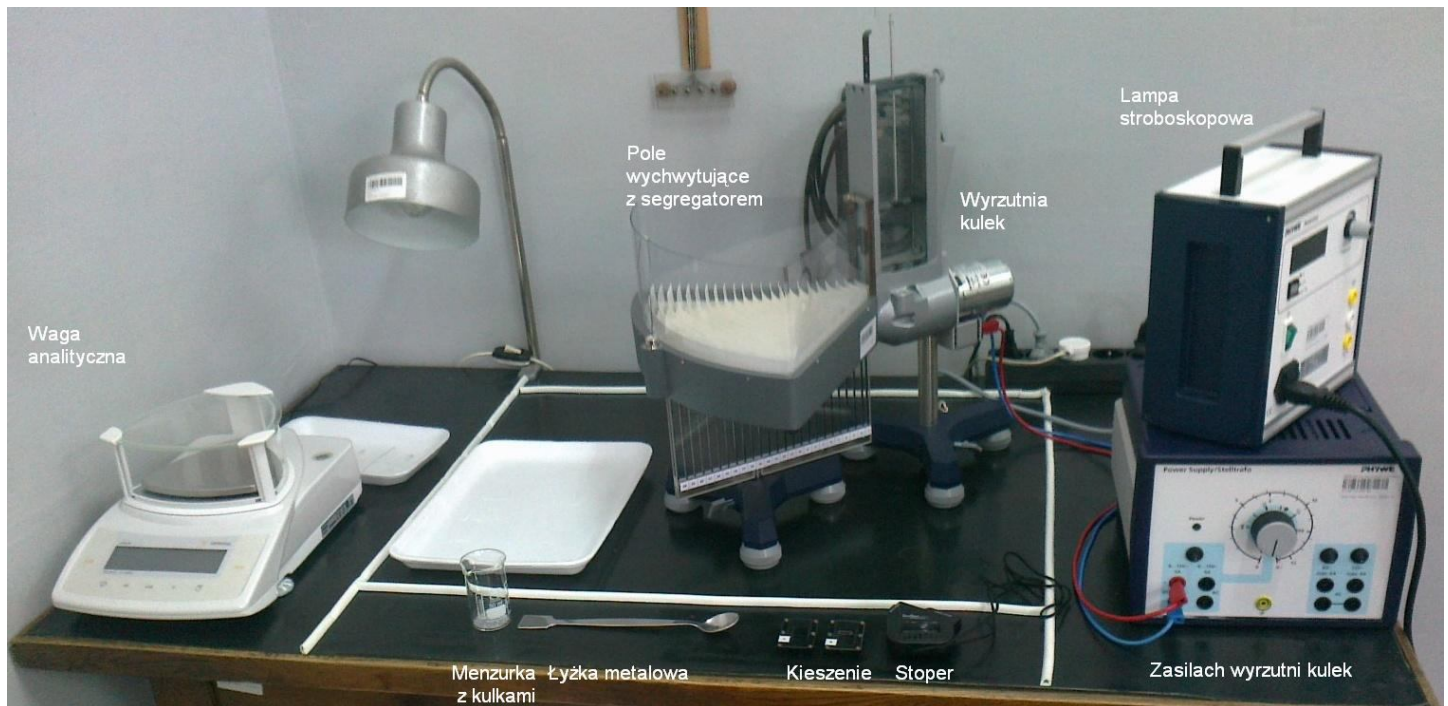


ROZKŁAD MAXWELLA-BOLTZMANA



Rys. 1. Widok stanowiska laboratoryjnego

Opis układu pomiarowego

W skład zestawu pomiarowego wchodzi:

1. elektroniczna waga analityczna,
2. 5 menzurek, ponad 400 kulek szklanych o średnicy około 2 mm, łyżka metalowa;
3. wyrzutnia kulek z komorą o regulowanej objętości i częstotliwości drgań podłogi, regulowany zasilacz napięcia;
4. pole wychwytyjące kulki z podstawą do segregacji zasięgu rzutu (do współpracy z kieszenią typu B);
5. lampa stroboskopowa o regulowanej częstotliwości błysków;
6. kieszenie wychwytyjące kulki 3 typów (A – otwór w połowie wysokości, B – otwór w połowie wysokości oraz pozioma szczelina, C – otwór wysoko), stoper ręczny.
7. W tym ćwiczeniu będą używane komory typu B i C, nie będzie używana kieszeń typu A.

Przeprowadzenie pomiarów


1. Należy ściśle uważać aby:

- a) nie uruchamiać wyrzutni kulek bez założenia kieszeni wychwytyjącej typu C albo typu B i jednoczesnego przystawienia do wyrzutni pola wychwytyjącego kulki;
 - b) nie kierować lampy stroboskopowej w stronę ludzi, nie przyglądać się źródłu impulsowemu światła, minimalizować czas pracy lampy;
 - c) wszelkie operacje z kulkami przeprowadzać tylko nad stołem laboratoryjnym i w miarę możliwości nad tackami by nie gubić kulek, nie ważyć kulek luzem tylko w menzurkach.
- Kulki (ciężar właściwy $2,5 \text{ g/cm}^3$) są bardzo sprężyste (współczynnik elastyczności 63 GPa), łatwo się elektryzują przez tarcie i przywierają do elementów plastikowych lub szklanych, są trudne do znalezienia (przezroczyste, średnica $2 \pm 0,2 \text{ mm}$). Rozsypane na podłodze grożą poślizgiem (współczynnik kulistości nie mniej niż 95%, odporność na ściskanie 550-700 N).

2. Zapoznać się z budową układu i sprawdzić czy:

- a) waga analityczna: jest ustawiona poziomo (dokonać ewentualnych korekt pokrętłami przy dwóch przednich nóżkach), ma zamkniętą komorę z szalką;
- b) wyrzutnia kulek jest ustawiona poziomo (dokonać ewentualnych korekt pokrętłami przy trzech nóżkach);
- d) do wyrzutni jest dokładnie przystawione pole wychwytyjące kulki z podstawą do segregacji zasięgu rzutu (dokonać ewentualnych korekt pokrętłami przy trzech nóżkach);
- c) otwór wyrzutni kulek jest przesłonięty kieszenią typu B, w kieszeni nie ma kulek, otwory z komory wyrzutni do kieszeni są zamknięte przez opuszczenie pionowego paska zaślepki;
- d) w komorze wyrzutni nie ma kulek, jeżeli są, to należy je usunąć zgodnie z punktem 16, a jeżeli jest ich niewiele to należy je przeliczyć a wartość $K_{\text{kom-pocz}}$ zapisać;
- e) do silnika wyrzutni podłączony jest regulowany zasilacz napięcia.

3. Ważenie

- 4. Włączyć wagę przyciskiem zasilania „”, odczekać na wykonanie procedury testu i kalibracji. W razie wskazywania przez wagę wartości różnej od zera wcisnąć przycisk tarowania „T”. Inne przyciski wagi w ćwiczeniu nie są wykorzystywane.
- 5. Otworzyć pokrywę komory szalki, zważyć jedną pustą menzurki wstawiając ją na środek szalki a wynik zanotować.
- 6. Masa jednej, idealnej kulki szklanej o gęstości $2,5 \text{ g/cm}^3$ i promieniu 1 mm to około 0,0105 g, masa 400 takich kulek to około 4,19 g. Około 200 rzeczywistych kulek układa się jedną warstwą na dnie menzurki. Odważyć masę odpowiadającą około 400 rzeczywistym kulkom ($4,18 - 4,20 \text{ g}$) wsypując je do menzurki.
- 7. Po zakończeniu procesu ważenia nie wyłączać wagi. Zamknąć pokrywę komory szalki.

Pomiary

- 1. Włączyć lampę stroboskopową i ustawić ją potencjometrem na częstotliwość np. **50,0 Hz**. Włączyć zasilacz regulowany. Ustawienie jego potencjometru na 10 V, co w przybliżeniu odpowiada drganiom podłogi komory wyrzutni o częstotliwości 50 Hz. Wyregulować nastawę zasilacza tak by podłoga komory wydawała się nieruchoma w świetle lampy stroboskopowej.
- 2. Ostrożnie wsypać do komory wyrzutni wszystkie kulki z menzurki, można pomóc sobie metalowym prętem.
- 3. *Przy pierwszym uruchomieniu stanowiska pomiarowego zaobserwować sposób poruszania się kulek w świetle lampy stroboskopowej oraz w świetle lampy biurowej. Zmienić pojemność komory zmieniając*

jej wysokość. Zaobserwować sposób poruszania się kulek w obu rodzajach oświetlenia przy różnej pojemności komory. Po zakończeniu obserwacji wyłączyć lampę stroboskopową.

4. Ustawić wysokość komory na np. **6 cm**.
5. Odsłonić pionową zaślepkę wlot do kieszeni typu B na około 3-5 minut. W górnej części zaślepki zostanie odsłonięty otwór. Dłuższe otwarcie zaślepki nie wpływa znacząco na wynik doświadczenia.
6. Po zasłonięciu wlotu do kieszeni typu B wyłączyć wyrzutnię kulek sprowadzając potencjometr zasilacza do zera, a następnie wyłączyć zasilacz.
7. Sprawdzić czy w rowkach pola wychwytyjącego nie ma kulek. Jeżeli są skierować je do segregatora zasięgu za pomocą metalowego pręta. Po zakończeniu tej czynności zdjąć pole wychwytyjące.

Zliczanie

1. Przeliczyć kulki z kolejnych 24 przegród segregacji zasięgu bez ich wyjmowania. Następnie kulki zsytać do jednej menzurki i zważyć. Jeżeli jest to możliwe przeliczyć kulki pozostałe w komorze wyrzutni. Wyniki zapisać dla każdego cyklu pomiarowego.
2. Operacje pomiaru (czynności z punktów 7-13, bez 9) można wykonać w przykładowych wariantach:.
A) przy częstotliwości wymuszenia **50 Hz** i wysokości komory **6 cm**;
B) przy częstotliwości wymuszenia np. **40 Hz** i wysokości komory **6 cm**;
C) przy częstotliwości wymuszenia **50 Hz** i wysokości komory np. **12 cm**;
D) przy częstotliwości wymuszenia np. **40 Hz** i wysokości komory np. **12 cm**.
Przystępując do każdego wariantu pomiarów zawsze należy kontrolować częstotliwość drgań wymuszających za pomocą lampy stroboskopowej, a lampę włączać tylko na czas regulacji.
3. Na koniec pomiarów należy:
 - a) założyć w wyrzutni kieszeń typu C w celu opróżnienia komory;
 - b) wyciągnąć pionową zaślepkę do położenia drugiego;
 - c) ustawić zasilacz na napięcie odpowiadające częstotliwości wymuszenia 50 Hz przez około minutę;
 - d) zamknąć zaślepkę;
 - e) wyłączyć wyrzutnię kulek sprowadzając potencjometr zasilacza do zera, a następnie wyłączyć zasilacz;
 - f) opróżnić kieszeń typu C z kulek do menzurki w której znajdują się pozostałe kulki biorące udział w doświadczeniu;
 - g) zapisać ewentualną ilość kulek pozostałą w komorze wyrzutni;
 - h) zważyć kulki w menzurce;
 - i) określić niepewności wielkości mierzonych;
 - j) upewnić się, że urządzenia stanowiska laboratoryjnego (waga, wyrzutnia, zasilacz, lampa stroboskopowa) są wyłączone, a kulki szklane są zabezpieczone przed rozsypaniem.

Do zapisania wyników doświadczenia może posłużyć przykładowa tabela przedstawiona poniżej dla jednego z czterech wariantów z punktu 15.

[illegible]

Opracowanie wyników pomiarów

1. Wyznaczyć początkową ilość kulek biorących udział w doświadczeniu $K_{pocz} = K_{kom-pocz} + K_{menz-pocz}$ przez zsumowanie ilości kulek będących w komorze wyrzutni $K_{kom-pocz}$ oraz wynikającą z masy kulek ważonych w menzurce $K_{menz-pocz}$. Ilości kulek wynikającą z ich ważenia wyznaczamy przez podzielenie masy kulek przez masę kulki odniesienia, którą należy przyjąć.
2. Wyznaczyć niepewność standardową $u_c(K_{pocz}) = \sqrt{\frac{(\Delta K_{menz-pocz})^2}{3} + \frac{(\Delta K_{kom-pocz})^2}{3}}$ gdzie: $\Delta K_{kom-pocz}$ - niepewność maksymalna ilości kulek w komorze; $\Delta K_{menz-pocz}$ niepewność maksymalna ilości kulek wynikająca z ich ważenia. W obu niepewnościach zakładamy ich jednorodny rozkład.
3. Analogicznie wyznaczyć ilość kulek na koniec doświadczenia $K_{koniec} = K_{kom-koniec} + K_{menz-koniec}$ i niepewność standardową tej wielkości.
4. Wyznaczyć niepewności rozszerzone ze współczynnikiem rozszerzenia równym 2 dla obu wartości: $U(K_{pocz}) = 2u_c(K_{pocz})$, $U(K_{koniec}) = 2u_c(K_{koniec})$. Sprawdzić czy przedziały niepewności rozszerzonych nie są rozłączne, wyciągnąć wnioski.
5. Na podstawie relacji wartości K_{pocz} , K_{koniec} i ich niepewności rozszerzonych przyjąć stałą wartość kulek biorących udział w doświadczeniu K_0 a wybór uzasadnić.
6. Wyznaczyć niepewność pomiaru przedziału czasu $u_c(t) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$, wspólną dla wszystkich prób w każdym z wariantów, gdzie Δt maksymalna niepewność pomiaru czasu stoperem ręcznym.

7. Na wykres nanosimy zależność $y = \frac{1}{\sum N_i} \frac{N_i}{\Delta V}$ w funkcji ΔV , gdzie N_i – liczba kulek w przedziale o szerokości 1 cm odpowiadającej przedziałowi prędkości $\Delta V = 0,078$ m/s (gdy różnica wysokości między otworem wyrzutni i polem wychwytyjącym wynosi $h=8$ cm). Wszystkich przedziałów jest 24.

8. Na wykres nanosimy standardowe niepewności: prędkości $u_c(V) = \left| \frac{g}{2h} u(s) \right|$ gdzie: g – przyspieszenie grawitacyjne, różnica wysokości $h=8$ cm, niepewność pomiaru szerokości przegrody $u(s)=1$ mm; oraz

$$u_c(y) = \sqrt{\left[\frac{i \cdot u_c(N_i)}{\sum N_i} \frac{1}{\Delta V} \right]^2 + \left[\frac{1}{\sum N_i} \frac{N_i}{\Delta V^2} u_c(\Delta V) \right]^2}$$

wielkości y gdzie: i – numer przedziału, $u_c(N_i)$ – niepewność zliczania ilości kulek w przedziale. Wykres przybliżamy linią ciągłą.

9. Wartość teoretyczna prędkości najbardziej prawdopodobnej jest równa $V_{np} = 1,41\sqrt{\frac{kT}{m}}$, prędkości

średniej $\bar{V} = 1,59\sqrt{\frac{kT}{m}}$, gdzie k – stała Boltzmana ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K), m – masa pojedynczej kulki, T – ekwiwalentna temperatura „gazu kulkowego”.

Zaleca się by w zespole realizującym ćwiczenie podzielić warianty opracowania a) i b) pomiędzy ćwiczących studentów.

wariant opracowania a)

1. Z wykresu określić wartość prędkości najbardziej prawdopodobnej oraz jej niepewność standardową.
2. Na bazie wartości V_{np} , zakładając spełnienie warunków rozkładu, wyznaczyć prędkość średnią i jej niepewność standardową.
3. Z wykresu określić wartość prędkości średniej oraz jej niepewność standardową. Porównać z poprzednio wyznaczoną i wyciągnąć wnioski.

wariant opracowania b)

1. Z wykresu określić wartość prędkości średniej oraz jej niepewność standardową.
2. Na bazie wartości \bar{V} , zakładając spełnienie warunków rozkładu, wyznaczyć prędkość najbardziej prawdopodobną i jej niepewność.
3. Z wykresu określić wartość prędkości najbardziej prawdopodobnej oraz jej niepewność standardową. Porównać z poprzednio wyznaczoną i wyciągnąć wnioski.

Zestawić wyniki, przeanalizować uzyskane rezultaty (także wykresy), wyciągnąć wnioski.

Stwierdzić czy cele ćwiczenia:

- ♣ sprawdzenie, czy mierzone wartości polegają rozkładowi Maxwella-Boltzmana;
 - ♣ wyznaczenie parametru rozkładu M-B prędkości najbardziej prawdopodobnej lub prędkości średniej;
- zostały osiągnięte.