

DOŚWIADCZENIE MILLIKANA

Wyznaczenie wartości ładunku elementarnego metodą Millikana

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie ładunku elementarnego (ładunku elektronu) metodą zastosowaną przez R.A Millikana

Wstęp:

W eksperymencie Millikana obserwuje się ruch małych elementów ośrodka ciągłego naładowanych elektrycznie. Ruch ten odbywa się pod wpływem sił pola grawitacyjnego oraz wytwarzanego pola elektrycznego. W swym doświadczeniu wykonanym metodą kropłową Millikan obserwował ruch kropelek oliwy, elektryzowanych przez tarcie przy ich rozpylaniu, między okładkami płaskiego kondensatora ustawionego poziomo.

I. Zagadnienia teoretyczne:

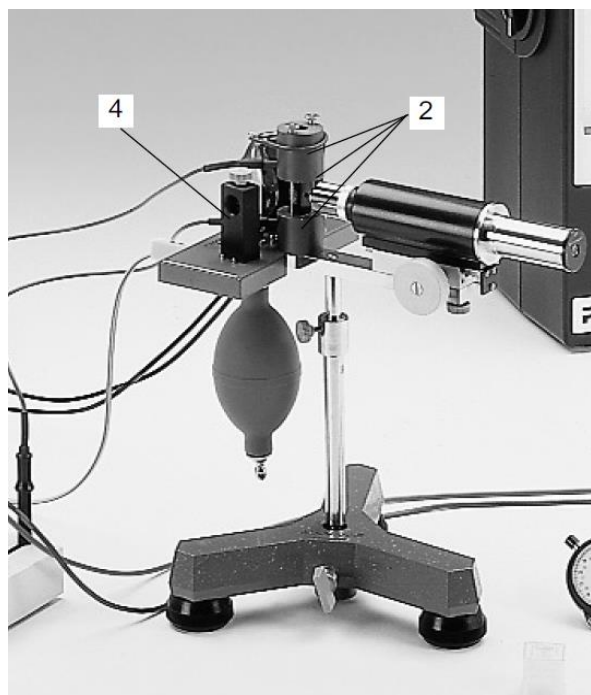
- Ruch ciała naelektryzowanego w polu elektrycznym,
- Ruch ciała w ośrodku lepkim,
- Metody wyznaczania wartości ładunku elementarnego.

II. Budowa układu doświadczalnego:

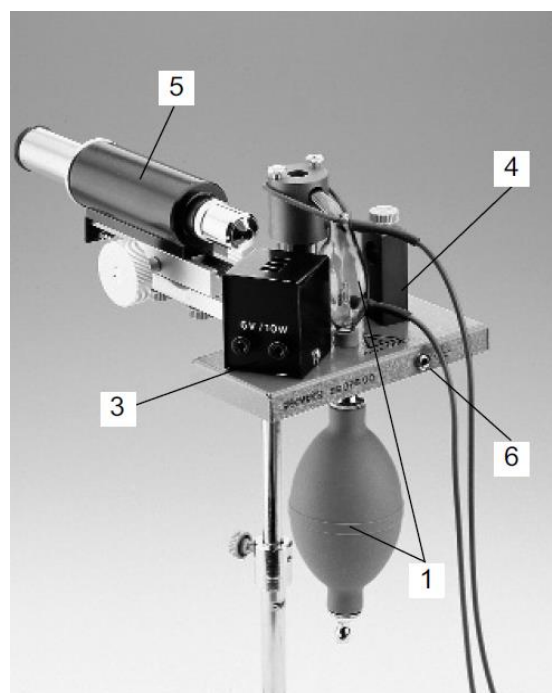
Aparat Millikana jest przeznaczony do wyznaczenia ładunku elementarnego e .

Do cylindrycznej komory, której ścianki górna i dolna tworzą kondensator płaski, wprowadzane są za pomocą rozpylacza kropelki oleju. Ładują się one przez tarcie o ścianki dyszy rozpylacza oraz o powietrze. Mikroskop, zamocowany z boku komory, pozwala obserwować ruch tych kropelek i mierzyć ich prędkości. Określenie prędkości wznoszenia się i opadania kropelek w polu elektrycznym kondensatora pozwala wyznaczyć wielkość zgromadzonego na nich ładunku elektrycznego.

Elementy składowe aparatu Millikana, używanego w eksperymencie przedstawione zostały na rysunkach 1 i 2.



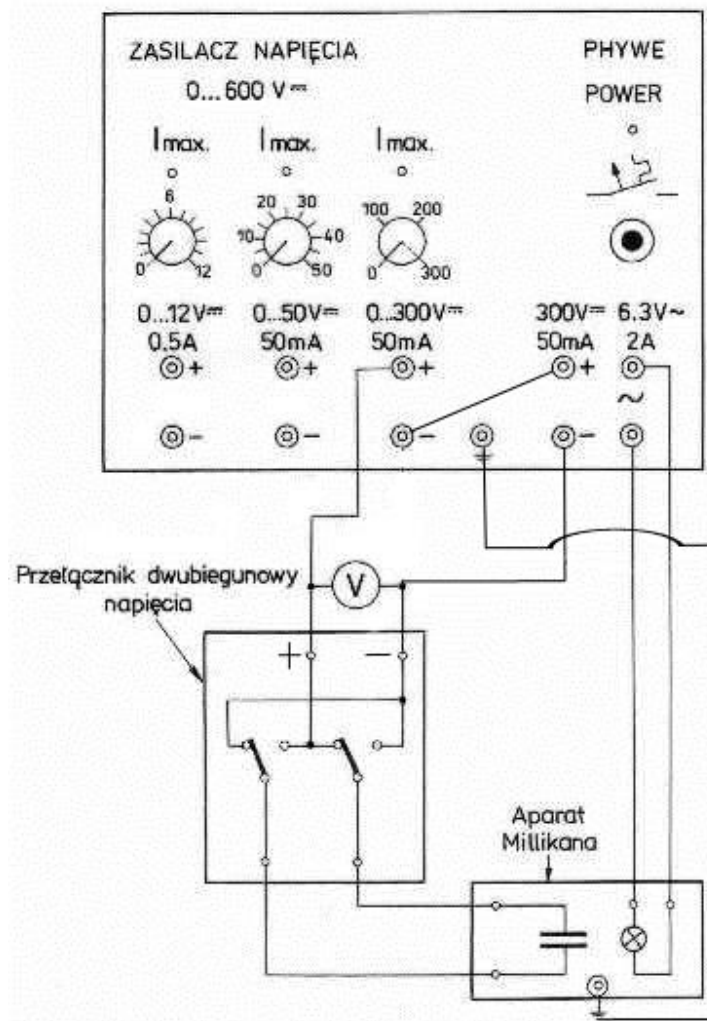
Rys. 1. Aparat Millikana, widok z przodu



Rys.2 Aparat Millikana, widok z tyłu

- 1) Rozpylacz oleju z gumową gruszką
- 2) Kondensator Millikana
- 3) Oświetlacz halogenowy
- 4) Uchwyt na źródło promieniotwórcze
- 5) Mikroskop
- 6) Podstawa aparatu z gniazdem uziemienia

W górnej elektrodzie kondensatora znajduje się niewielki otwór przeznaczony do wprowadzenia kropelek oleju. Odległość pomiędzy okładkami kondensatora $d = 2,50 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, maksymalne napięcie przykładane do jego okładek nie powinno przekraczać 500 V DC



Rys. 3. Schemat podłączeniowy zestawu doświadczalnego

III. Podstawy teoretyczne:

Zasilacz prądu stałego ładuje kondensator Millikana do pewnego napięcia. W polu elektrycznym kondensatora obserwuje się ruch wznoszący i opadający naładowanej kropelki oleju. Mierząc czas poruszania się kropelki oleju i drogę jaką przebywa można wyznaczyć jej prędkość.

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

- prędkość opadania kropli w polu elektrycznym v_d ,
- prędkość wznoszenia kropli w polu elektrycznym v_g ,
- napięcie na okładkach kondensatora U ,

- ładunek kropelki oleju $Q = n \times e$,
- promień kropelki r ,
- odległość między płytkami kondensatora $d = 2,5 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$,
- gęstość oleju silikonowego $\rho_o = 1,075 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,
- gęstość powietrza $\rho_p = 1,293 \text{ kg/m}^3$,
- lepkość powietrza $h = 1,82 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \times \text{s)}$,
- przyspieszenie ziemskie $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Na kropelkę o promieniu r i ładunku elektrycznym Q , poruszającą się pionowo pomiędzy płytkami naładowanego kondensatora płaskiego, działają cztery siły: ciężar kropli, siła wyporu, siła oporu ośrodka (siła Stokesa) oraz siła elektrostatyczna. Kropelka oleju porusza się ruchem jednostajnym, co oznacza, że działające na nią siły równoważą się. Korzystając z przyjętych powyżej oznaczeń warunki równowagi sił działających na kropelkę można sformułować następująco dla ruchu kropli pionowo w dół:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_o g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_p g = 6 \pi \eta v_d r - \frac{QU}{d} \quad (1)$$

oraz podczas ruchu kropli pionowo do góry.

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_o g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_p g = \frac{QU}{d} - 6 \pi \eta v_g r \quad (2)$$

Równania (1) i (2) zawierają cztery niewiadome: promień kropli r , jej ładunek Q oraz prędkości poruszania się, v_d i v_g . Jeżeli możliwe jest wyznaczenie prędkości opadania kropli, v_d i wznoszenia się, v_g , to z zależności (1) i (2) można znaleźć pozostałe niewiadome. Ładunek kropelki Q wyrazi się wzorem:

$$Q = C_1 \cdot \frac{v_d + v_g}{U} \sqrt{v_d - v_g} \quad (3)$$

gdzie:

$$C_1 = \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{g(\rho_o - \rho_p)}} \quad (3a)$$

Natomiast promień kropli r jest równy

$$r = C_2 \cdot \sqrt{v_d - v_g} \quad (4)$$

gdzie,

$$C_2 = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\eta}{g(\rho_o - \rho_p)}} \quad (4a)$$

IV. Przebieg ćwiczenia:

Czynności wstępne

- Za pomocą śrub regulacyjnych znajdujących się w podstawie statywu wypoziomować aparat Millikana.
- Zacisk uziemienia znajdujący się w podstawie aparatu połączyć z zaciskiem uziemienia w zasilaczu.
- Zaciski lampy oświetleniowej znajdującej się na aparacie Millikana połączyć z wyjściem 6,3 V AC zasilacza.
- Do komory kondensatora wprowadzać kropelki oleju przez kilkakrotne naciśnięcie gumowej gruszki umieszczonej u dołu aparatu Millikana.
- Podczas obserwacji należy regulować położenie mikroskopu śrubą mikrometryczną tak, żeby pojawiające się kropelki oleju były ostro widoczne w centrum pola obserwacji.
- Jeżeli obserwowane kropelki nie opadają jednostajnie i ich ruch jest wyraźnie turbulentny, wtedy okienko obserwacyjne należy dodatkowo uszczelnić za pomocą szklanej pokrywki (18 mm × 18 mm) posmarowanej olejem.

Wykonanie:

- Podłączyć układ doświadczalny zgodnie z rysunkiem 3
- Posługując się płytką ze skalą mikrometryczną wykonać kalibrację skali okularu mikroskopu i wyznaczyć drogę cząstki

- Do kamery Millikana wprowadzić kropelki oleju za pomocą rozpylacza
- Wybrać kroplę, która jest naelektryzowana (tzn. reaguje na zmiany kierunku pola elektrycznego).
 - Dla każdego napięcia roboczego (400 V, 450 V, 500 V) wykonać po 5 pomiarów
 - Na sekundomierzu zmierzyć czasy wznoszenia się i opadania wybranej kropli, czynność tę wykonać dla 14 do 20 obiegów cząstki
 - Wyznaczyć czasy opadania i wznoszenia cząstek.
 - Na podstawie danych wyznaczyć prędkość opadania v_d , prędkość wznoszenia v_g oraz promień cząstki - r i ładunek cząstki- Q . Uzyskane wyniki przedstawić na wykresie zależności $Q(r)$.

Błędy pomiarowe:

- Błąd pomiaru prędkości oszacować metodą różniczki zupełniej
- Wyznaczyć średnią wartość ładunku elektronu i jej odchylenie standardowe

Literatura:

[Anderson 1966], Anderson D. L. „Odkrycie elektronu”, Warszawa: PWN 1966

[Millikan 1911], Millikan R.A. „The isolation of an Ion, a precision measurement of its charge, and the correction of Stoke’s law”, Phys.Rev. 32,349-397 (1911)

[Szczeniawski 1980] Szczeniawski Sz. “Fizyka doświadczalna cz. III- elektryczność i magnetyzm” s. 54-55 Warszawa: PWN 1980

[Szydłowski 1989] Szydłowski H. „Pracownia fizyczna” s 240-244 Warszawa PWN 1984

[Wróblewski [1984] Wróblewski, A.K.; Zakrzewski J.A. „Wstęp do fizyki” tom 1 s 240-307 Warszawa: PWN 1984

[Wróblewski [1991] Wróblewski, A.K.; Zakrzewski J.A. „Wstęp do fizyki” tom 2 s 60-66 Warszawa: PWN 1991

Instrukcja obsługi ćwiczeń – „Ładunek elementarny i doświadczenie Millikana”, Zestaw do doświadczenia Millikana”, PHYWE Systeme GmbH&Co.KG