

Laboratorium Fizyczne II

Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Katedra Fizyki Doświadczalnej

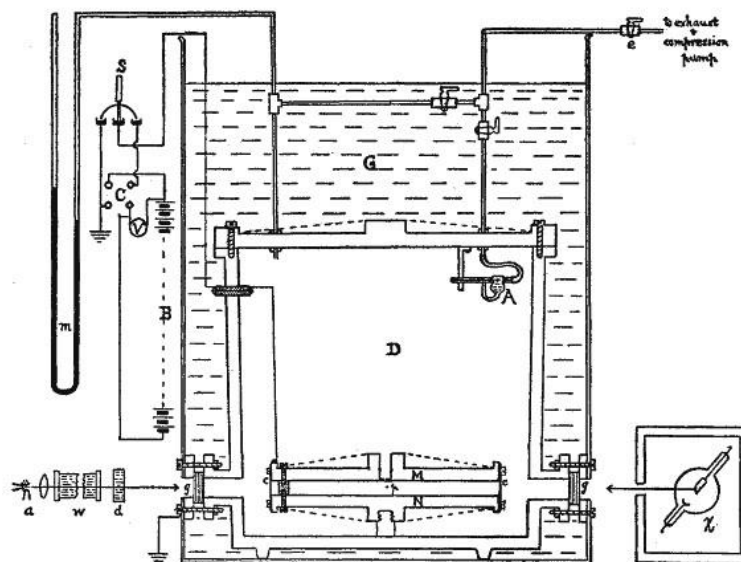
Ćwiczenie nr 3

Doświadczenie Millikana. Wyznaczanie ładunku elementarnego.

A. Opis zagadnienia

I. Doświadczenie Millikana

Doświadczenie przeprowadzone w 1911 roku przez Roberta Millikana, w którym wykazał stałość ładunku elektronu i wyznaczył jego wartość. Millikan rozpylał w powietrzu krople oleju, które elektryzowały się podczas rozpylania po czym wpadały do kondensatora, gdzie ich ruch mógł być obserwowany przez mikroskop. Zamknięcie obwodu elektrycznego wytwarzało jednorodne pole elektryczne między poziomymi okładkami kondensatora. Pole to działało dodatkową siłą przeciwstawiającą się opadaniu kropli pod wpływem własnego ciężaru. Obserwowano spadanie kropli przy wyłączonym napięciu i ich ruch w górę przy włączonym. Na podstawie prędkości ruchu kropli możliwe było określenie sił działających na kroplę: grawitacyjnej, elektrycznej i siły oporu, a z nich – wartości ładunku kropli. Opracowując wyniki otrzymane z tego doświadczenia, Millikan stwierdził kwantyzację ładunków kropli. Ładunki te były wielokrotnościami podstawowej wartości – ładunku elektrycznego elektronu. Ładowanie się kropelek (lub zmiana ich ładunku) następowało w wyniku wychwyty jonów z powietrza lub działania promieniowania rentgenowskiego albo promieniowania γ (wikipedia).



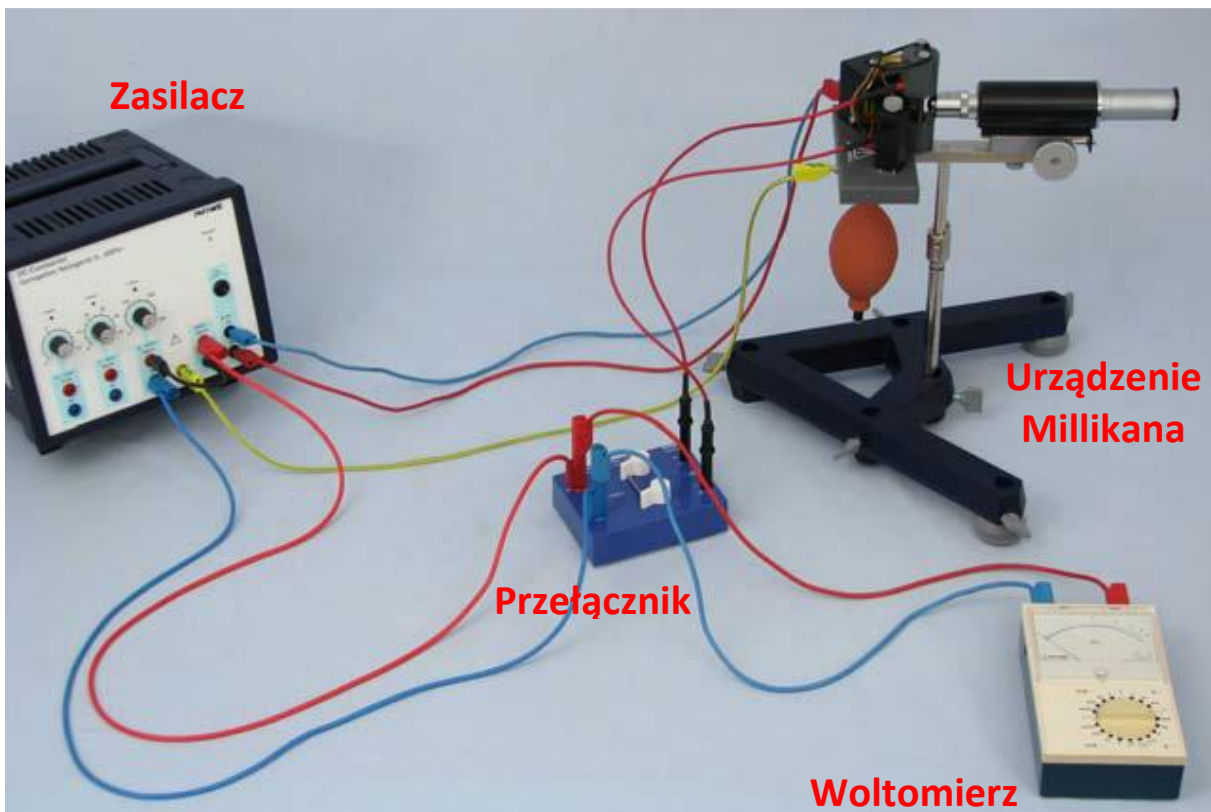
Rys. 1 Schemat doświadczenia z pracy Millikana (wikipedia)

B. Wyznaczanie ładunku elementarnego

I. Przyrządy:

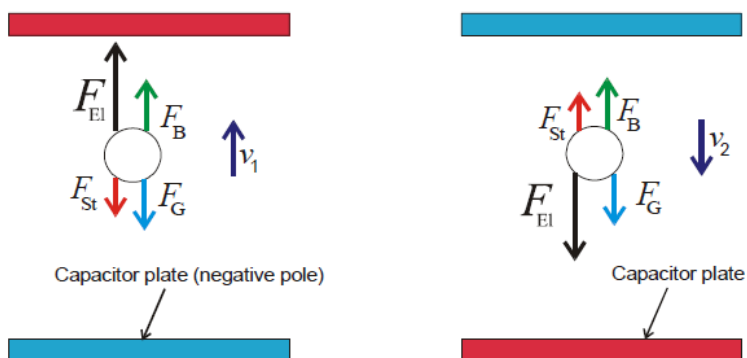
- Urządzenie Millikana;
- Zasilacz;
- Woltomierz
- Przełącznik
- Stopery
- Mikrometr.

II. Cel ćwiczenia: powtórzenie doświadczenia Millikana i wyznaczenie ładunku elementarnego.



Rys. 2 Układ pomiarowy

1. Teoria



Rys. 3

Aby wyznaczyć prędkość wznoszenia i opadania naładowanej kropli oleju w polu elektrycznym kondensatora należy określić siły na nią działające. Rys. 3 przedstawia obydwie sytuacje. Gdy dolna okładka kondensatora naładowana jest ujemnie kropla porusza się w stronę okładki naładowanej dodatnio (wznosi się), a na naładowaną kroplę oleju działają oprócz siły pola elektrycznego F_{El} : siła grawitacji F_G , siła wyporu F_B oraz siła oporu (Stokes'a) F_{St} :

- siła pochodząca od pola elektrycznego

$$F_{El} = Q \cdot E = Q \frac{U}{d},$$

gdzie d jest odległością pomiędzy okładkami kondensatora ($d = 2,5 \text{ mm}$);

- siła grawitacji

$$F_G = m \cdot g = \rho_1 V g,$$

gdzie ρ_1 to gęstość oleju silikonowego ($\rho_1 = 1,03 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), a V to objętość kropli;

- siła wyporu

$$F_B = \rho_2 V g,$$

gdzie ρ_2 jest gęstością powietrza ($\rho_2 = 1,293 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

- siła oporu (dla ciała kulistego poruszającego się w płynie o lepkości η – z prawa Stokes'a)

$$F_{St} = 6\pi r \eta v,$$

gdzie η jest lepkością powietrza ($\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$).

Zauważmy, że niektóre siły działają w kierunku ruchu a niektóre przeciwnie. W przypadku opadania kropli kierunek zmienia siła oporu. Sumując wartości sił w poszczególnych przypadkach możemy wyznaczyć prędkość wznoszenia i opadania:

$$v_1 = \frac{1}{6\pi r \eta} \left(QE + \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_1 - \rho_2) \right)$$

$$v_2 = \frac{1}{6\pi r \eta} \left(QE - \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_1 - \rho_2) \right).$$

Ostatecznie z powyższych równań otrzymujemy wartość ładunku zawartego w kropli:

$$Q = C_1 \frac{v_1 + v_2}{U} \sqrt{|v_1 - v_2|},$$

gdzie można wyliczyć wartość $C_1 = 2,73 \cdot 10^{-11} \text{ kg} \cdot \text{m} / (\text{m} \cdot \text{s})^{0,5}$ oraz jej promień:

$$r = C_2 \sqrt{|v_1 - v_2|},$$

gdzie $C_2 = 6,37 \cdot 10^{-5} (\text{m} \cdot \text{s})^{0,5}$.

III. Zadania pomiarowe

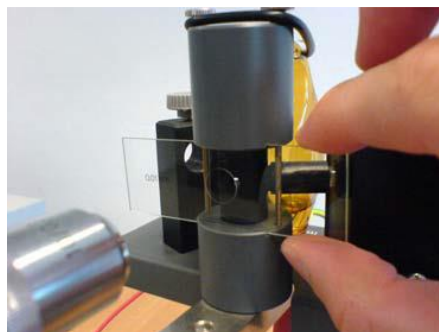
Naładowane krople oleju poddawane są działaniu pól elektrycznego i grawitacyjnego między dwoma okładkami kondensatora. Pod wpływem przyłożonego napięcia krople te są przyspieszane. Ładunek elementarny wyznaczany jest na podstawie prędkości skierowanej zgodnie z polem grawitacyjnym, a następnie w kierunku przeciwnym.

1. Czynności wstępne - zestawić układ pomiarowy jak przedstawiono na Rys. 2

a) Napięcie wyższe od 300 V można uzyskać łącząc szeregowo wyjście 300 V DC wraz z wyjściem regulowanym 0 – 300 V DC;

b) Przełącznik służy do zmiany polaryzacji kondensatora;

c) Na początku należy skalibrować mikrometr okularowy. Płytkę szklaną ze skalą należy umieścić przed mikroskopem w przygotowanym uchwycie (patrz Rys. 4). Jest tam zamieszczona skala o zakresie 1 mm podzielona na 100 części. Patrząc przez mikroskop należy tak ustawić jego ostrość, aby jednocześnie widoczne były obie skale. Należy odczytać ile działek skali na płytce (milimetrowej) zajmuje 30 działek skali mikroskopu – mikrometru okularowego. Należy zanotować wynik. Zdjęć płytke ze skalą z uchwytu.



Rys. 4

d) Ustawić woltomierz na zakresie 600 V napięcia stałego (DC).

e) Upewniając się, że pokrętki na zasilaczu są skręcone na wartość 0 następnie włączyć zasilanie urządzenia.

2. Wyznaczanie czasu opadania lub wznoszenia się wybranej kropli oleju

a) Ustawić napięcie na kondensatorze na wartość pomiędzy 300 a 500 V.

b) Wdmuchnąć krople do kondensatora.

c) Wybrać jedną z kropli i używając przełącznika poruszać nią między skrajnymi położeniami podziałki mikroskopu (mikrometru okularowego). W razie konieczności skorygować ostrość mikroskopu.

Kryteria wyboru odpowiedniej kropli:

- Kropla nie może poruszać się za szybko, ponieważ ma wtedy mały ładunek (powinna osiągać czas przelotu pomiędzy skrajnymi położeniami podziałki z zakresu między 1 a 3 s)

- Kropla nie może poruszać się zbyt wolno i nie może wykazywać innych ruchów. W razie potrzeby należy zwiększyć napięcie.

- Zsumować kilka czasów wznoszenia używając pierwszego stopera oraz zsumować kilka czasów opadania używając drugiego stopera.

- Zsumowane czasy powinny być większe niż 5 s w obydwu przypadkach.

d) Dla wybranej kropli dla danego napięcia na kondensatorze zanotuj czas wznoszenia t_1 i opadania t_2 oraz dystanse przebyte w obydwu przypadkach s_1 i s_2 (w działkach mikrometru okularowego). Pomiar powtórz dla innego napięcia.

e) Analogiczne pomiary do opisanych w punkcie poprzednim powtórz dla innych kropli.

IV. Opracowanie wyników

1. Przelicz drogę przebytą przez krople z działek mikrometru okularowego na metry (m).

2. Dla danej kropli i określonego napięcia U wylicz prędkości wznoszenia v_1 oraz opadania v_2 .

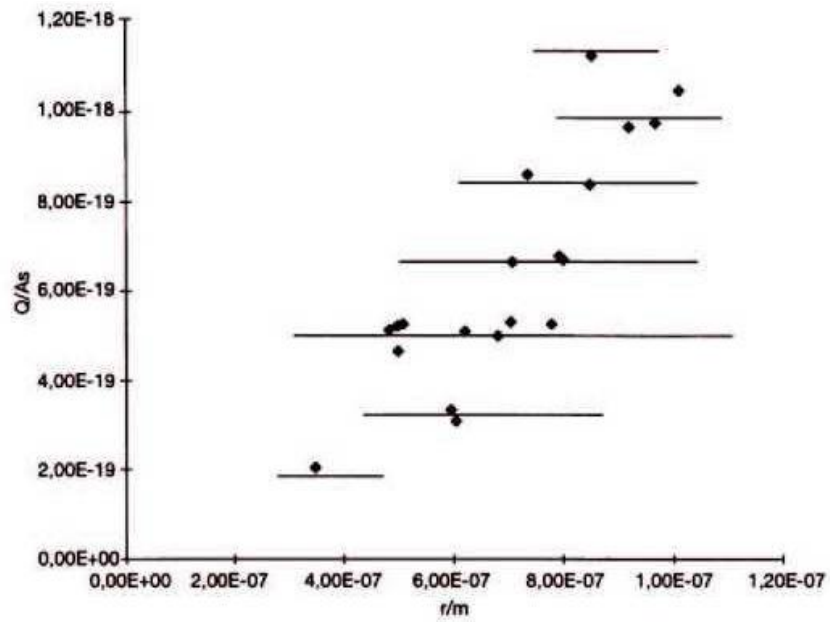
3. Mając wyznaczone prędkości, korzystając z poniższych wyrażeń, wyznacz ładunek danej kropli i jej promień:

$$Q = C_1 \frac{v_1 + v_2}{U} \sqrt{|v_1 - v_2|}$$

$$r = C_2 \sqrt{|v_1 - v_2|}$$

gdzie $C_1 = 2,73 \cdot 10^{-11} \text{ kg}\cdot\text{m}/(\text{m}\cdot\text{s})^{0,5}$ oraz $C_2 = 6,37 \cdot 10^{-5} (\text{m}\cdot\text{s})^{0,5}$.

4. Narysuj wykres zależności ładunku kropli Q od jej promienia r i na wykresie nanieś otrzymane rezultaty dla wszystkich kropli i napięć (Rys. 5). Przeprowadź proste przez punkty mające podobny ładunek (grupujące się w ich pobliżu) – patrz wykres. Wyznacz wartości ładunków odpowiadających na wykresie wszystkim prostym. Wyznacz różnice w wartości ładunków kolejnych par prostych (np. między 0 – ładunek 0 oraz 1-szą prostą, 1 a 2 prostą, itd.). Wyznacz wartość średnią. Określ niepewność.



Rys. 5 Przykładowa zależność $Q(r)$ uwzględniająca „pogrupowane” wyniki dla podobnych wartości ładunku – linie proste.