

## Experimentul Millikan - Determinarea sarcinii elementare

### Scopul experimentului

Demonstrarea naturii discrete a sarcinii electrice cu care se pot incarca corpurile si determinarea sarcinii elementare.

### Principiul metodei

Formarea si injectia picaturilor de ulei printr-un orificiu de acces dintre rezervor si incinta condensatorului folosind curgerea aerului ca si gaz purtator. Incarcarea electrica a picaturilor se produce fie prin frecare in curgerea turbulenta sau cu ajutorul unor ioni colectati de picaturi in timpul miscarii acestora ca urmare a unor evenimente de ionizare produse de o sursa radioactiva ce emite particule  $\alpha$  ( $\text{Po}^{120}$ ).

Studiul miscarii picaturilor de ulei in aer intre placile condensatorului sub influenta campului gravitational si a celui electric este folosita pentru determinarea marimii sarcinii electrice  $Q$  cu care s-a incarcat particula.

Determinarea experimentală pentru  $Q$  se face in baza ecuatiilor de miscare care conduc la o relatie simpla in functie de viteza de urcare si cea de coborare.

Analiza statistica a datelor experimentale  $Q_i$  pentru picaturile de ulei va indica ca acestea capata valori multiplu al unei valori ce corespunde sarcinii elementare.

### Descriere model teoretic

Miscarea ascendenta si descendenta a picaturilor de ulei in camp electric si gravitational este vizualizata prin intermediul imprastierii luminii de catre acestea. Astfel se pot determina vitezele in urcare  $v_u$  si coborare  $v_c$ . Parametrii utilizati in modelul fizic sunt explicitati mai jos.

$v_c$  - viteza in coborare a picaturii

$v_u$  - viteza in urcare a picaturii

$d$  - distanta dintre placi condensator ( $d=2.5\text{mm}$ )

$U$  - tensiunea aplicata pe placi capacitor

$Q$  - sarcina electrica asociata unei picaturi ( $Q = n \cdot e$ )

$r$  - raza picaturii

$\rho_p$  - densitatea picatura ulei siliconic ( $\rho_1 = 1.03 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ )

$\rho_a$  - densitate aer ( $\rho_2 = 1,293 \text{ kg m}^{-3}$ )

$\eta$  - vascozitatea aerului ( $\eta = 1.82 \cdot 10^{-5} \text{ kg (m} \cdot \text{s)}^{-1}$ )

$g$  - acceleratia gravitatională ( $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ )

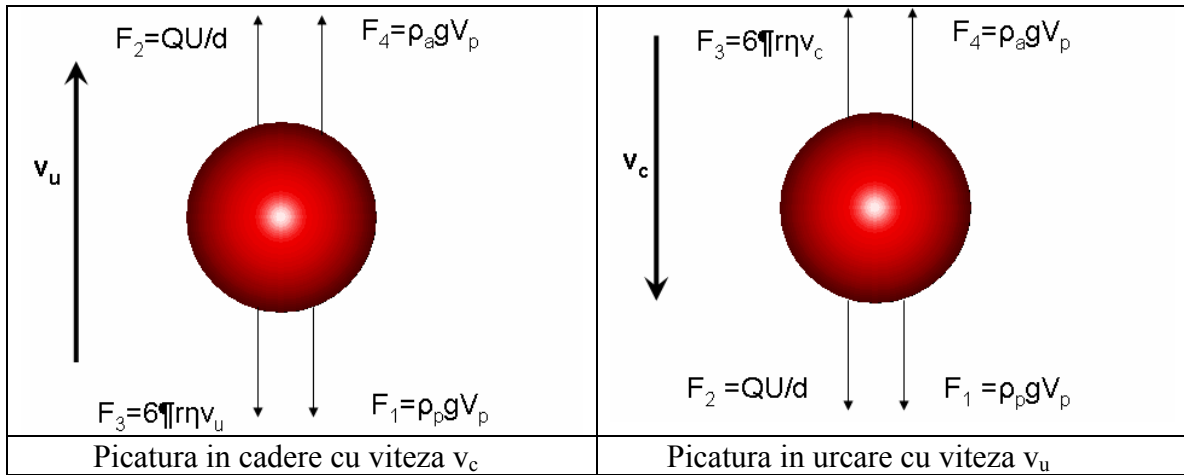


Fig.1 Fortele care se exercita asupra picaturilor de ulei in miscare ascensionala si in coborare aflate in camp electric si gravitational.

Fortele care actioneaza asupra picaturii sunt:

$F_1$  => forta data de campul gravitational;  $F_2$  => forta datorata campului electric si a sarcinii  $Q$  din picatura;  $F_3$  => forta de rezistenta asociata miscarii picaturii in fluid (aer) ;  $F_4$  => forta ascensionala arhimedica in aer.

In cazul in care fortele care actioneaza asupra picaturii au rezultanta diferita de zero acceleratia conduce la cresterea vitezei care la randul ei maresc  $F_3$  (proporzionala cu viteza). In final viteza picaturii atinge o valoare  $v_u$  sau  $v_c$  de la care miscarea devine uniforma. Dupa atingerea vitezei de echilibru fortele care actioneaza se vor compensa reciproc dupa cum urmeaza:

$$\text{Urcare: } F_2 + F_4 = F_3 + F_1$$

$$\text{Coborare: } F_3 + F_4 = F_1 + F_2$$

$$\frac{QU}{d} + \rho_a V_p g = 6\pi r \eta v_u + \rho_p V_p g \quad 6\pi r \eta v_c + \rho_a V_p g = \rho_p V_p g + \frac{QU}{d}$$

Vitezele la echilibru in urcare si coborare rezulta din aceste relatii dupa cum urmeaza:

$$v_u = \frac{1}{6\pi r \eta} \left[ Q \frac{U}{d} - (\rho_p - \rho_a) g V_p \right] \quad v_c = \frac{1}{6\pi r \eta} \left[ Q \frac{U}{d} + (\rho_p - \rho_a) g V_p \right] \quad (1)$$

Marimea razei picaturii “ $r$ ” se obtine prin scaderea celor doua expresii precedente iar sarcina “ $Q$ ” rezulta din relatia obtinuta prin adunarea expresiilor din (1).

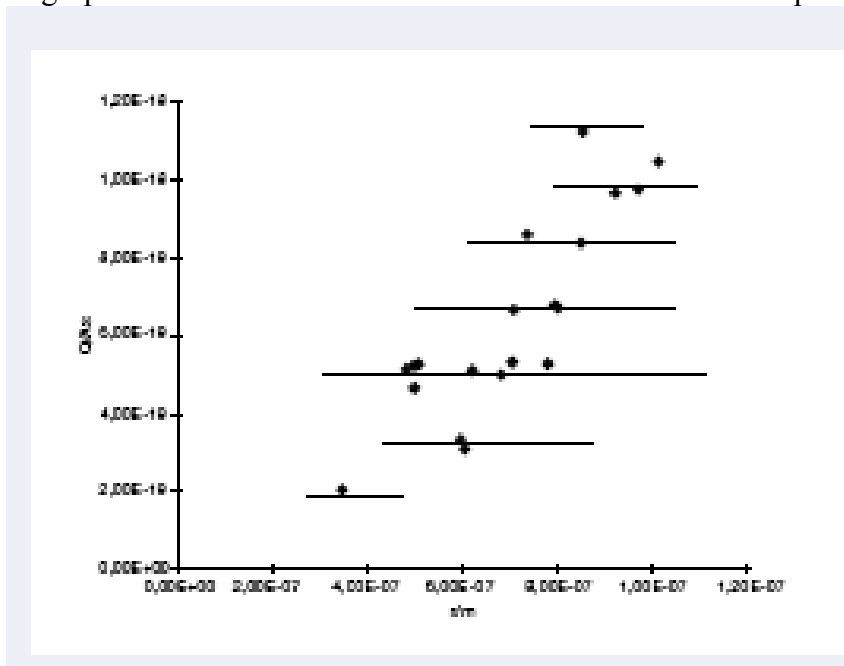
$$r = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{\eta}{g(\rho_p - \rho_a)}} \sqrt{v_c - v_u} \quad Q = \frac{9}{2} \pi d \sqrt{\frac{\eta^3}{g(\rho_1 - \rho_2)} \frac{v_c + v_u}{U}} \sqrt{v_c - v_u}$$

Considerand valorile constantelor utilizate care au fost mentionate mai sus ajungem la relatiile care pot fi folosite in experiment.

$$r = 6.37 * 10^{-5} \sqrt{v_c - v_u} \quad Q = 2.73 * 10^{-11} \frac{v_c + v_u}{U} \sqrt{v_c - v_u}$$

In concluzie masurand viteza ascensionala si cea corespunzatoare cazului cand particula coboara se determina marimea sarcinii cu care picatura este incarcata. Condițiile restrictive impun utilizarea aceleiasi diferente de potential între placile condensatorului care trebuie să fie doar inversata printr-un comutator pentru trecerea de la coborare la ascensiune.

Datele  $Q_i$  se vor trata statistic ca în figura 2 în care se constată că valorile experimentale se grupează în submulțimi de date care conduc la valori multiple ale sarcinii elementare.



## Descrierea montajului experimental



### Procedura de lucru

- Se asigura legarea in serie a doua surse CC de cate 300V pentru asigurarea unui interval de polarizare a condensatorului in domeniul 300 – 500V. Se recomanda a nu se depasii tensiunea de 500V pentru protectia sursei.
- Pompa de cauciuc montata sub masa pe care este montat capacitorul este necesara pentru barbotarea aerului in interiorul rezervorului de ulei siliconic. Prin introducerea aerului sub volumul ocupat de uleiul din vas se formeaza picaturi emergente prin partea superioara in incinta condensatorului.
- Un cablu optic realizeaza iluminarea laterala a incintei condensatorului in care picaturile de ulei imprastie lumina fiind astfel bine vizualizate. Imaginea picaturilor

se formeaza cu ajutorul unui microscop. Acesta are acces lateral printr-un orificiu practicat in recipientul in care se gasesc placile condensatorului.

- O lama de sticla transparenta este montata intre orificul din peretele camerei si obiectivul microscopului pentru a-l proteja pe acesta fata de uleiul spreiat in incinta.
- Dupa injectia aerului in uleiul din rezervor prin actionarea pompei se vizualizeaza formarea picaturilor in incinta.
- Dupa verificarea formarii picaturilor se porneste sursa de tensiune prevazuta cu un inversor de polaritate. Ficsam tensiunea astfel incat sa observam formarea unor picaturi care se deplaseaza intr-un sens invers fata de cel al majoritatii particulelor. Acest fapt indica ca acestea sunt incarcate spre deosebire de celelalte care sunt neutre. Probabilitatea de formare a picaturilor incarcate electric poate fi crescuta prin asezarea unei surse de radiatii cu ajutorul suportului montat langa condensator.
- Reperetele cu care este prevazut ocularul vor fi utilizate pentru determinarea spatiului parcurs de catre picatura incarcata intr-un timp masurat cu un cronometru din dotare.
- Cand picatura ajunge la capatul scalei se inverseaza tensiunea iar timpul corespunzator distantei parcurse in sens invers este masurat cu cronometrul.
- In acest mod se masoara viteza in coborare si pentru urcare ale aceleiasi picaturi. Valorile obtinute se utilizeaza in relatia care da valoarea corespunzatoare sarcinii electrice pe care o are picatura.
- Datele obtinute se pot organiza ca in tabelul de mai jos. Din analiza statistica sugerata prin reprezentarea valorilor  $Q_i$  ca in Fig.2 se va determina valoarea sarcinii electrice elementare.

$\frac{U}{V}$	$\frac{t_1}{s}$	$\frac{s_1}{div.}$	$\frac{t_2}{s}$	$\frac{s_2}{div.}$	$\frac{s_1}{mm}$	$\frac{s_2}{mm}$	$\frac{v_1}{m/s}$	$\frac{v_2}{m/s}$	$\frac{v_1 - v_2}{m/s}$	$\frac{r}{m}$	$\frac{Q}{As}$	$n$	$\frac{e}{As}$
300	9.6	150	13.5	150	4.45	4.45	4.64E-04	3.30E-04	1.34E-04	7.37E-07	8.54E-19	5	1.71E-19
300	7.0	90	11.2	120	2.67	3.56	3.81E-04	3.18E-04	6.36E-05	5.08E-07	5.19E-19	3	1.73E-19
300	5.8	90	7.1	60	2.67	1.78	4.60E-04	2.51E-04	2.10E-04	9.22E-07	9.57E-19	6	1.60E-19
300	7.4	90	8.8	60	2.67	1.78	3.61E-04	2.02E-04	1.59E-04	8.02E-07	6.59E-19	4	1.65E-19
300	6.9	90	8.2	90	2.67	2.67	3.87E-04	3.26E-04	6.13E-05	4.99E-07	5.19E-19	3	1.73E-19
300	5.6	90	8.0	60	2.67	1.78	4.77E-04	2.23E-04	2.54E-04	1.02E-06	1.04E-18	6	1.73E-19
400	6.9	90	9.8	90	2.67	2.67	3.87E-04	2.72E-04	1.15E-04	6.82E-07	4.92E-19	3	1.64E-19
400	6.4	90	8.3	90	2.67	2.67	4.17E-04	3.22E-04	9.55E-05	6.23E-07	5.04E-19	3	1.68E-19
400	5.0	90	5.0	60	2.67	1.78	5.34E-04	3.56E-04	1.78E-04	8.50E-07	8.28E-19	5	1.66E-19
400	7.0	120	7.9	120	3.56	3.56	5.09E-04	4.51E-04	5.79E-05	4.85E-07	5.09E-19	3	1.70E-19
400	6.0	60	8.5	60	1.78	1.78	2.97E-04	2.09E-04	8.73E-05	5.95E-07	3.30E-19	2	1.65E-19
400	5.5	90	7.4	90	2.67	2.67	4.85E-04	3.61E-04	1.25E-04	7.11E-07	6.59E-19	4	1.65E-19
400	4.7	60	7.8	60	1.78	1.78	3.79E-04	2.28E-04	1.51E-04	7.82E-07	5.19E-19	3	1.73E-19
400	5.2	120	10.6	180	3.56	5.34	6.85E-04	5.04E-04	1.81E-04	8.57E-07	1.11E-18	7	1.59E-19
400	6.5	60	9.7	60	1.78	1.78	2.74E-04	1.84E-04	9.03E-05	6.05E-07	3.03E-19	2	1.52E-19
500	6.4	120	7.2	120	3.56	3.56	5.56E-04	4.94E-04	6.18E-05	5.01E-07	4.61E-19	3	1.54E-19
500	5.5	90	9.8	120	2.67	3.56	4.85E-04	3.63E-04	1.22E-04	7.04E-07	5.23E-19	3	1.74E-19
500	5.2	60	5.7	60	1.78	1.78	3.42E-04	3.12E-04	3.00E-05	3.49E-07	2.00E-19	1	2.00E-19
500	6.4	120	8.9	120	3.56	3.56	5.56E-04	4.00E-04	1.56E-04	7.96E-07	6.67E-19	4	1.67E-19
500	5.2	120	5.9	90	3.56	2.67	6.85E-04	4.53E-04	2.32E-04	9.70E-07	9.67E-19	6	1.61E-19

t1 – timp coborare t2 - timp urcare