

## LUCRAREA nr. 2

### DETERMINAREA SARCINII ELEMENTARE $e$ EXPERIMENTUL MILLIKAN

#### Obiectivele experimentului

Determinarea sarcinii elementare  $e$  din ecuațiile de mișcare a picăturilor de ulei încărcate electric într-un câmp electric vertical. Se va folosi metoda dinamică:

-măsurarea vitezei de cădere după aplicarea diferenței de potențial și măsurarea vitezei de urcare a unei picături când trebuie determinată diferența de potențial.

#### BAZELE TEORETICE ALE DETERMINĂRII SARCINII ELEMENTARE

Picături de ulei fin pulverizate pătrund în câmpul omogen al unui condensator plan. În timpul pulverizării, picăturile individuale primesc o sarcină de valoarea  $Q$  datorată electrizării prin frecare. O astfel de picătură de masă  $m_{\text{ulei}}$  este supusă acțiunii următoarelor forțe într-un câmp electric de intensitate  $\vec{E}$ :

-forța electrică:  $\vec{F}_e = Q \cdot \vec{E}$

-greutatea:  $\vec{G} = m_{\text{ulei}} \cdot \vec{g}$

Dacă picătura se deplasează în aer, asupra acesteia mai acționează și următoarele forțe:

-forța arhimedică:  $\vec{F}_A = m_{\text{aer}} \cdot \vec{g}$

unde  $m_{\text{aer}}$  este masa de aer dezlocuită de picătura de ulei:

-forța de frecare Stokes:  $\vec{F}_s = 6\pi\eta \cdot \vec{v}$

unde  $\eta$  este vâscozitatea aerului,  $r$ , raza picăturii presupusă de formă sferică iar  $v$  este viteza de mișcare a picăturii.

**Determinarea razei  $r$  a picăturii:** Dacă o picătură de ulei cade liber cu viteză constantă  $v_1$ , atunci:

$$\vec{G} + \vec{F}_A + \vec{F}_s = 0$$

sau:

$$m_{\text{ulei}} \cdot g - m_{\text{aer}} \cdot g - 6\pi r v_1 \eta = 0$$

notând :

$$m_{\text{ulei}} - m_{\text{aer}} = m = (\rho_{\text{ulei}} - \rho_{\text{aer}}) \cdot V = \rho \cdot V,$$

în care  $\rho_{\text{ulei}}$  este densitatea uleiului și  $\rho_L$  densitatea aerului

obținem :

$$V\rho g - 6\pi r v_1 \eta = 0$$

Picătura fiind considerată sferică, volumul ei va fi  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ . De unde:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - 6\pi r v_1 \eta = 0$$

De aici putem calcula raza picăturii de ulei:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2\rho g}} \quad (1)$$

Dacă este aplicat un potențial  $U$  condensatorului plan cu distanța între armături  $d$ , astfel încât picătura să se ridice cu viteza constantă  $v_2$ , suma forțelor trebuie să fie nulă :

$$\vec{G} + \vec{F}_A + \vec{F}_S + \vec{F}_e = 0$$

sau:

$$mg + 6\pi r v_2 \eta - Q \cdot E = 0$$

în care  $E = \frac{U}{d}$  și  $mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ . Ca urmare, se obține:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - Q \frac{U}{d} + 6\pi r v_2 \eta = 0 \quad (2)$$

Dacă câmpul electric are o valoare astfel încât picătura de ulei să plutească, forța de frecare Stokes nu acționează, și ca urmare:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - Q \frac{U}{d} = 0 \quad (3)$$

Prin urmare, sarcina electrică  $Q$  a unei picături de ulei poate fi determinată cu ajutorul aparatului Millikan prin două metode (relația 2 și relația 3) :

1. metoda de echilibru
2. metoda dinamică

**1. Metoda de echilibru.** În cazul metodei de echilibru se aplică o diferență de potențial condensatorului pentru ca picătura să plutească (3). Se măsoară apoi viteza  $v_1$  la care picătura cade atunci când diferența de potențial este anulată (1).

După introducerea ecuației (1) în ecuația (3) obținem pentru  $Q$  expresia :

$$Q = \frac{6\pi d \eta v_1}{U} \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2\rho g}} \quad (4)$$

Dacă se înlocuiesc următoarele valori pentru  $\eta$ ,  $d$  și  $\rho$ :

$$\eta = 1,81 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$d = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\rho_{\text{ulei}} = 875,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_L = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = 874 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

sarcina picăturii este dată de expresia:

$$Q = 2 \cdot 10^{-10} \frac{(v_1)^{3/2}}{U} \text{ C} \quad (5)$$

**2. Metoda dinamică.** În cazul metodei dinamice, viteza de cădere  $v_1$  în spațiul lipsit de câmp (1) și viteza de ridicare  $v_2$  sunt măsurate pentru o diferență de potențial  $U$  aplicată condensatorului (2). După introducerea ecuației (1) în ecuația (2) obținem pentru  $Q$  expresia :

$$Q = (v_1 + v_2) \frac{\sqrt{v_1}}{U} \eta^{3/2} \frac{18\pi d}{\sqrt{2\rho g}}$$

După introducerea valorilor numerice, sarcina electrică a picăturii,  $Q$  poate fi calculată cu expresia ::

$$Q = 2 \cdot 10^{-10} \cdot (v_1 + v_2) \frac{\sqrt{v_1}}{U} \text{ C} \quad (6)$$

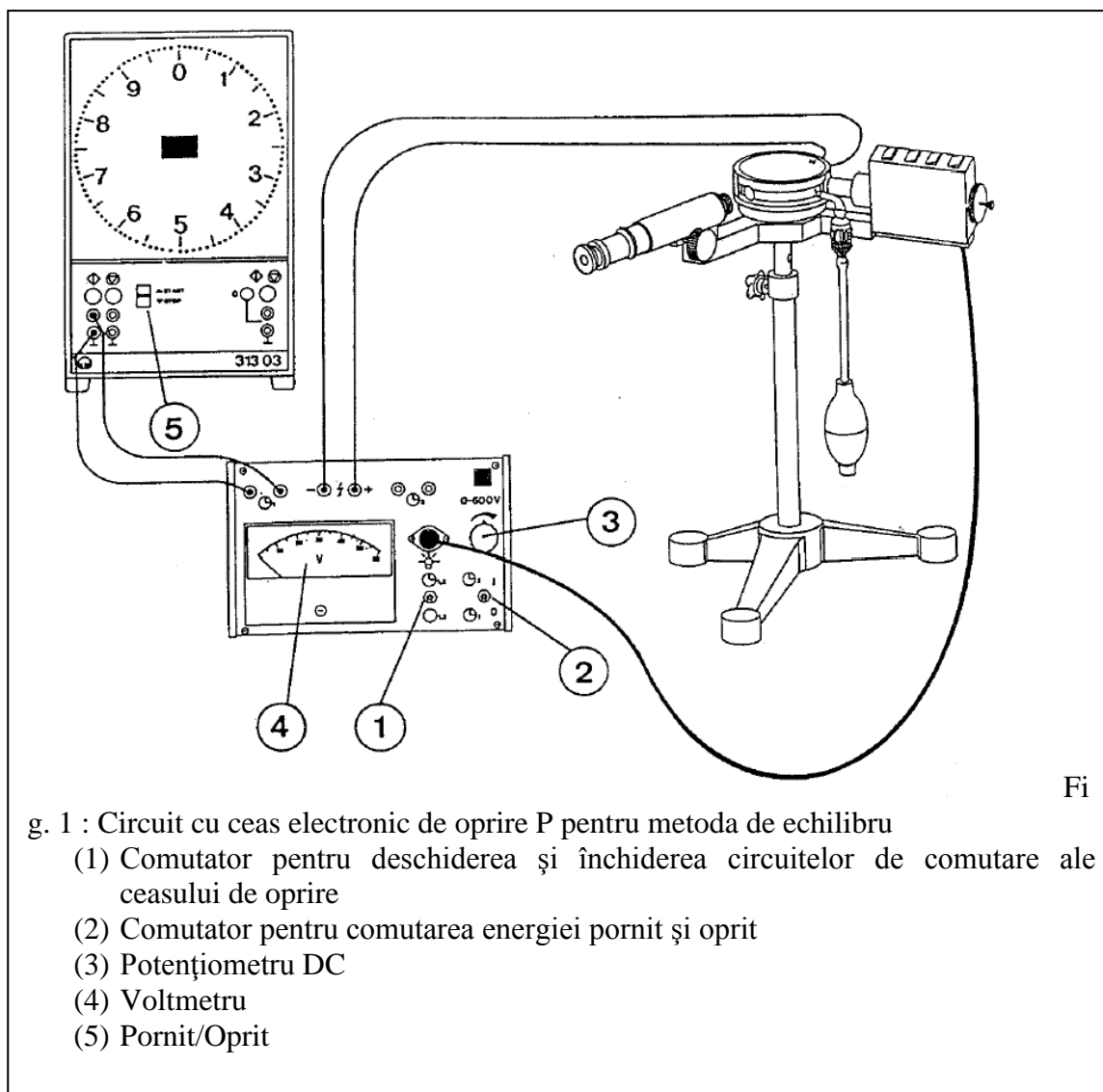
### APARATURA NECESARĂ

aparat Millikan, unitate Millikan generatoare de energie, ceas de oprire electronic P, cabluri de conectare, numărător P

**Observație** : Ceasul electronic de oprire și numărătorul P sunt necesare pentru metoda dinamică. Doar unul din aceste dispozitive este necesar pentru metoda de echilibru.

## INSTALAREA :

Asamblați aparatul Millikan și umpleți cu ulei recipientul de pulverizare. Instalați circuitul pentru metoda de echilibru după cum este arătat în figura 1.



**Notă:** *Ceasul de oprire electronic poate fi înlocuit de numărătorul P.*

Porniți unitatea generatoare de energie prin intermediul comutatorului de pe spatele panoului. Poziționați micrometrul ocularului vertical și focalizați prin rotirea inelului negru al ocularului. Divizați uleiul în camera Millikan prin apăsarea parțială a mingii de cauciuc. Focalizați picăturile de ulei rotind șurubul.

Microscopul produce o imagine răsturnată. Prin urmare toate direcțiile de mișcare apar inversate. Mai jos, toate mișcărilor vor fi descrise așa cum au fost observate la microscop

Anulați timpul afișat pe ceasul de oprire prin intermediul butonului de resetare (identificat prin 0 pe panoul frontal).

Dacă folosiți numărătorul :

Porniți numărătorul de la comutatorul principal. Setări comutatorul domeniul de măsurare pe numărător la măsurarea timpului (s). Anulați afișajul timpului. O măsurătoare neambiguă a timpului este posibilă doar până la 10 s folosind ceasul de oprire electronic P (313 03). Dacă timpul măsurătorii depășește 10 s o lumină roșie este iluminată în fața afișajului digital de secunde. Afișajul pentru timpii măsurătorilor care depășesc 20 s nu se poate distinge de cel pentru timpii între 10 s și 20 s. Este recomandată folosirea unui ceas de oprire manual suplimentar pentru măsurători care depășesc 10 s.

***Notă:** Valoarea sarcinii electrice poate fi verificată după aproximativ 6-8 măsurători. Este recomandat să se determine sarcina elementară realizând de 2 sau 3 ori acest număr de măsurători.*

**OBSERVAȚIE:** NU încercați să demontați diferitele părți componente ale montajului și NU modificați conexiunile electrice. NU deplasați camera video relativ la suportul condensatorului. În caz contrar, reglajele optice trebuie refăcute și acest proces consumă din timpul util alocat experimentului și interpretării rezultatelor.

## **REALIZAREA EXPERIMENTULUI :**

Pulverizați uleiul în camere Millikan prin apăsarea parțială a mingii de cauciuc. Pentru măsurători ulterioare, găsiți o picătură care se ridică la  $U=0$  cu o viteză de 1-2 diviziuni ale scării/secundă și cade la  $U=600V$  cu o viteză de 1-2 diviziuni ale scalei/secundă.

## **METODA DINAMICĂ**

Variabilele măsurătorii :

- timpul  $t_2$  necesar unei picături pentru a parcurge o distanță de  $x$  diviziuni ale scalei pentru o diferență de potențial  $U$ .
- diferența de potențial  $U$ .
- timpul  $t_1$  necesar aceleași picături în absența diferenței de potențial  $U$  pentru a parcurge o distanță de  $x$  diviziuni ale scalei.

## MODUL DE LUCRU

1. Poziționați comutatorul (1) în poziția jos și comutatorul (2) în poziția sus . Circuitul de control pentru ceasul de oprire este acum deschis și conexiunea cu generatorul de energie al condensatorului este realizată.
2. Folosind mânerul rotitor (3), alegeți o diferență de potențial  $U$  de la 500V la 600V astfel încât picătura de ulei să ‘cadă’ încet. Citiți diferența de potențial  $U$ .
3. Alegeți o picătură care cade încet din treimea superioară a ariei de observație și comutați comutatorul (1) când aceasta depășește un marcaj de măsurare (ex. diviziunea 40 a scalei) : ceasul de oprire B pentru măsurarea timpului de urcare  $t_2$  în câmp electric este pornit.
4. Urmăriți picătura care cade și comutați comutatorul (2) în poziția ‘0’ când aceasta depășește un al doilea marcaj de măsurare(ex. Diviziunea 60 a scalei). Diferența de potențial  $U$  este anulată . Ceasul B este oprit și ceasul A este pornit simultan.
5. Urmăriți picătura care urcă și opriți ceasul A apăsând comutatorul de oprire (5) când aceasta depășește din nou primul marcaj de măsurare.

Tabel

Nr. crt.	U(V)	t(s)	N (Q=N·e)

### Exemple de măsurători :

Trebuie luat în considerare 1.875 x mărirea obiectului când se face conversia a x diviziuni ale scalei micrometrului.

$$s = \frac{x}{1,875} \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

1) Metoda de echilibru :

$$U=213 \text{ V} \quad x_A=10 \text{ Skt} \quad t_1=8,34 \text{ s}$$

2) Metoda dinamică:

$$U=500 \text{ V} \quad x_2=20 \text{ Skt} \quad t_2=20,5 \text{ s}$$

$$x_1=20 \text{ Skt} \quad t_1=5,98 \text{ s}$$

Evaluări și rezultate:

Pentru a):

$$v_1 = \frac{s_1}{t_1} = \frac{10}{1.875} \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \frac{1}{8.34\text{s}} = 0,64 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = \frac{v_1^{3/2}}{U} \cdot 2 \cdot 10^{-10} \quad C = \frac{0,64 \cdot 10^{-4}}{213} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \quad C = 4,81 \cdot 10^{-19} \quad C$$

Pentru b):

$$v_1 = 1,78 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = 0,518 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = (v_1 + v_2) \frac{\sqrt{v_1}}{U} \cdot 2 \cdot 10^{-10} C =$$

$$= (1,78 \cdot 10^{-4} + 0,518 \cdot 10^{-4}) \cdot \frac{\sqrt{1,78 \cdot 10^{-4}}}{500} \cdot 2 \cdot 10^{-10} C = 6,62 \cdot 10^{-19} C$$

Sarcina  $Q$  este calculată folosind metoda de mai sus pentru toate datele măsurătorilor. Valoarea sarcinii electrice devine clar vizibilă dacă rezultatele măsurate sunt afișate sub forma unei histograme (fig. 3). Rezultatele măsurate sunt grupate în jurul unor numere întregi multipli de  $N$  ai sarcinii elementare  $e$ . Sarcina elementară  $e$  se obține calculând cel mai mare divizor comun al diferitelor valori ale sarcinii  $Q=Ne$ .

$$N=3; \quad e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$

exemplu pentru metoda de echilibru (partea a);  $N=4$  în exemplul de măsurătoare pentru metoda dinamică (partea b);  $e = 1,65 \cdot 10^{-19} C$  .

Valoarea medie a tuturor măsurătorilor pentru sarcina elementară este aproximativ 10% mai mare decât valoarea teoretică de  $1,6 \cdot 10^{-19} C$  . Această deviație de la valoare crește cu cât raza picăturii observate este mai mică. Aceasta se datorează faptului că legea lui Stokes pentru dimensiunea picăturilor asupra cărora s-a făcut evaluarea nu se mai aplică exact pentru picăturile care au aici dimensiuni între  $10^{-6}$  și  $10^{-7}$  m și care sunt de ordinul drumului liber mediu al moleculelor de aer.

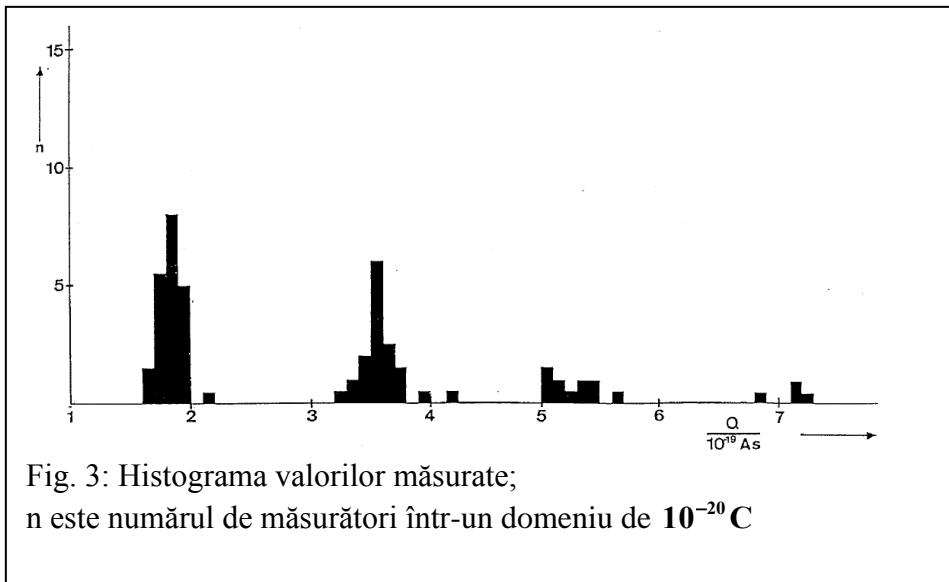
### Corectarea valorilor măsurate pentru $e$ :

Valorile măsurate trebuie corectate dacă vrem să determinăm o valoare mai exactă pentru sarcina elementară și cuantificarea sarcinii  $Q$ . Forța de frecare corectată este dată de formula următoare:

$$F = \frac{6\pi\eta rv}{1 + \frac{b}{rp}} \quad (7)$$

unde  $p$  este presiunea aerului iar  $b$  un parametru parametru constant ( $b = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}$  și poate fi determinat din măsurători realizate la presiuni diferite.)

Dacă se efectuează calculele folosind formula modificată pentru forța de frecare valoarea corectată pentru sarcina  $Q_k$  este dată de:



$$Q_k = \frac{Q}{\left(1 + \frac{b}{rp}\right)^{3/2}}$$