

Verificarea legii lui Coulomb

Obiectivul experimentului

Măsurarea forței de interacțiune între două sfere încărcate electric în funcție de:

- distanța dintre centrele sferelor;
- sarcinile electrice de pe sfere.

Estimarea valorii permitivității electrice a vidului.

Principiul lucrării

Charles de Coulomb (1736–1806) a măsurat în 1785 forța de interacțiune dintre corpurile încărcate electric. Pentru aceasta a utilizat o balanță de torsiune construită chiar de el, ca cea din fotografia alăturată. Forța de interacțiune dintre sarcinile electrice a fost măsurată cu ajutorul momentului de torsiune al unui fir.



În urma mai multor măsurători efectuate, el a ajuns la concluzia că forța de interacțiune dintre două sarcini punctiforme este o forță de tip central, care depinde invers proporțional de distanța dintre sarcinile electrice. Constanta de proporționalitate depinde de mediul în care interacționează sarcinile electrice. Expresia forței de interacțiune electrostatică (fig. 1) este:

$$\vec{F}_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_1 \text{ și } \vec{F}_2 = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_2, \quad (1)$$

unde $\vec{u}_1 = -\vec{u}_2$ și astfel și $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Cele două forțe sunt *acțiune și reacțiune*. Acestea acționează asupra a două corpuri diferite astfel că nu își pot anula reciproc efectul.

Forța (1) poartă numele de *forța lui Coulomb* sau *forța electrostatică*.

Expresia (1) a forței de interacțiune electrostatică este adevărată doar dacă dimensiunea corpurilor încărcate electric este mult mai mică decât distanța dintre acestea, adică dacă corpurile încărcate electric sunt punctuale. Astfel de sarcini se mai numesc și *purtători de sarcină electrică*. Forța de interacțiune electrostatică este pozitivă, adică de *respingere*, dacă cele două sarcini electrice au același semn și negativă, adică de *atracție* dacă cele două sarcini electrice au semne opuse.

Tot din experiență se știe că forța de interacțiune dintre două sarcini electrice este de respingere dacă acestea au același semn și de atracție dacă acestea sunt de semn contrar.

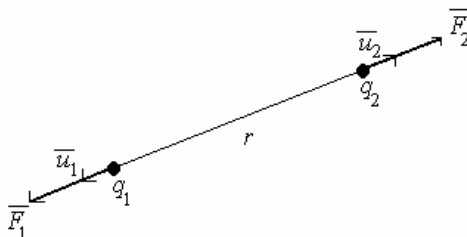


Fig. 1

Constanta k depinde de mediu și de sistemul de unități de măsură utilizat. În SI, în vid

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2,$$

adică
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u} \quad (2)$$

Mărimea $\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ poartă numele de *permitivitatea dielectrică a vidului* și caracterizează din punct de vedere electric mediul în care se află sarcinile electrice.

În experimentul de față forța de interacțiune electrostatică se măsoară cu ajutorul unui sensor de forță. Vom studia proporționalitățile,

$$F \propto \frac{1}{r^2}, F \propto q_1 \text{ și respectiv } F \propto q_2. \quad (3)$$

Dispozitivul pentru măsurarea forței (fig. 2) conține două elemente de încovoiere paralele și patru elemente de calibrare a deformării legate într-un circuit punte. Rezistența electrică a elementelor de calibrare se modifică sub acțiunea tensiunii mecanice. Această modificare este proporțională cu forța care acționează, a cărei valoare este afișată direct pe un newtonmetru.

În circuit este legat un electrometru care funcționează ca un coulombmetru (măsoară sarcina electrică) ce poate măsura sarcina electrică de pe sfere aproape fără curent electric. Măsurând cu un voltmetru tensiunea electrică la ieșire și cunoscând valoarea capacității condensatorului utilizat se poate determina sarcina electrică din relația de definiție e capacității electrice,

$$q = CU. \quad (4)$$

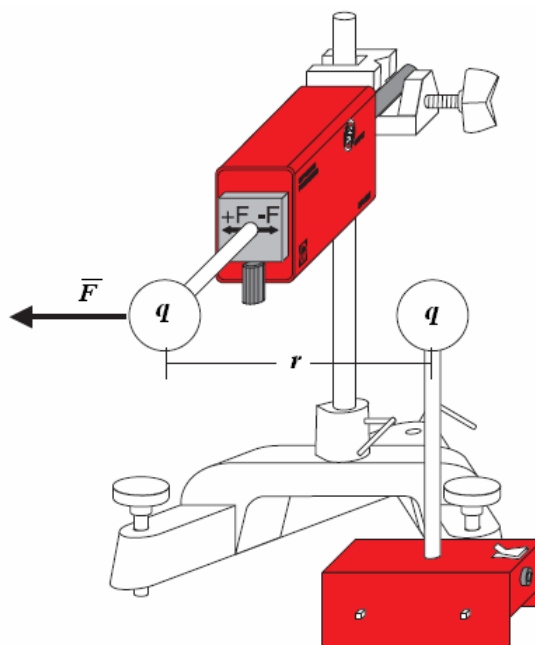


Fig. 2

Dispozitivul experimental

Observații preliminare

Efectuarea acestui experiment necesită o atenție deosebită deoarece „pierderile de curent” prin izolatori pot conduce la pierderi de sarcină electrică și, prin urmare, la erori de măsurare mari. În plus, efectele nedorite ale inducției electrostatice pot influența rezultatele obținute.

Experimentul trebuie efectuat într-o cameră închisă și uscată pentru a preveni pierderile datorate umidității aerului.

Se recomandă ștergerea barelor izolatoare cu apă distilată, aceasta fiind cel mai bun solvent al sarurilor conductoare care se depun pe izolatori. În plus, izolatorii trebuie descărcați electric după fiecare experiment prin trecerea ușoară printr-o flacără care nu înnește, cum este cea a unei lămpi cu butan.

Sursa de tensiune electrică înaltă și punctul de conexiune cu cablul de înaltă tensiune trebuie să se afle la distanță mare de restul dispozitivului experimental pentru a evita efectele inducției electrostatice.

Din aceleași motive, în timpul măsurătorilor, experimentatorul trebuie să țină în mână bagheta de legătură a amplificatorului electrometrului pentru a fi legat la pământ.

În figura 3 este prezentat dispozitivul experimental pentru încărcarea electrică a sferelor și pentru măsurarea forței, iar în figura 4 sunt prezentate legăturile din circuit ale amplificatorului electrometrului pentru măsurarea sarcinii electrice.

Alimentarea la tensiune înaltă:

- Legați cablul de tensiune înaltă la polul pozitiv al sursei de tensiune înaltă și polul negativ al sursei la pământ.
- Așezați capătul liber al cablului de tensiune înaltă (**a**) în orificiul superior al baghetei izolatoare fixată în stativ.

Pregătirea senzorului de forță și a sferelor

- Fixați căruciorul (**b**) pe șina metalică verticală și atașați sfera 1 cu ajutorul conectorului.
- Atașați senzorul de forță (**c**) pe bancul orizontal astfel încât semnul – (minus) să fie orientat spre sfera 1.
- Atașați sfera 2 la aceeași înălțime cu sfera 1.
- Aliniați cele două sfere la aceeași înălțime.
- Conectați senzorul de forță la newtonmetru cu ajutorul cablului multicore (mai multe miezuri).
- Deplasați căruciorul astfel încât marginea sa stângă să coincidă cu diviziunea de 4,0 cm de pe riglă și potriviți distanța dintre sfere la 0,2 cm. Distanța dintre centrele sferelor este $r = 4,0$ cm.

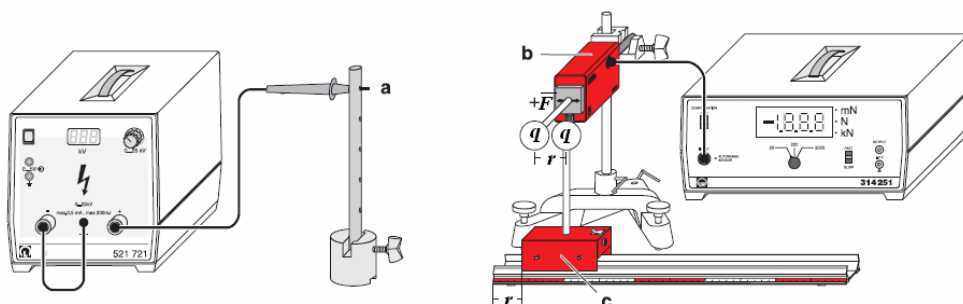


Fig. 3

Efectuarea măsurărilor de sarcină electrică

- Alimentați amplificatorul electrometrului cu tensiune de la priză (fig. 4).
- Atașați cușca Faraday (**d**) cu clema de prindere.
- Atașați condensatorul de 10 nF (**e**).
- Legați bagheta (**f**) la masă și, dacă este posibil, legați masa la împământarea sursei de înaltă tensiune printr-un cablu lung.
- Conectați voltemetrul la ieșire.

Modul de lucru**Observații preliminare**

Măsurătorile pot fi influențate de eventualele surse de sarcini electrice din apropiere deoarece valorile forțelor măsurate sunt foarte mici. Evitați vibrațiile, curenții de aer și variațiile de temperatură.

Newtonmetrul trebuie să se încălzească înainte de utilizare cel puțin 30 minute.

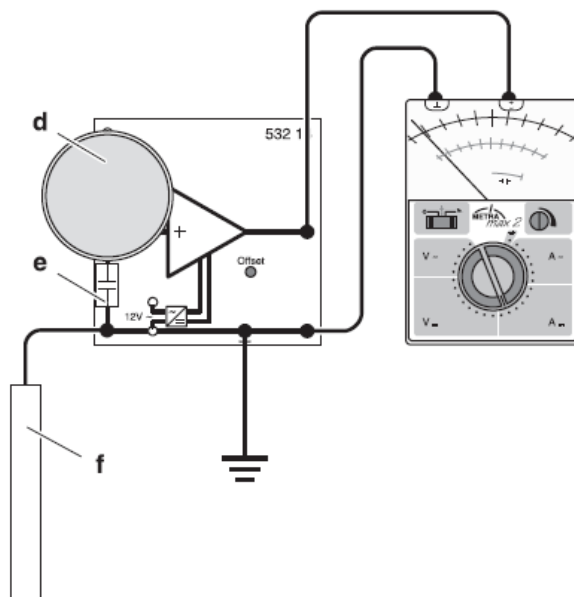


Fig. 4

a). Măsurarea forței în funcție de distanța dintre centrele sferelor**a1). Măsurători cu sarcini electrice de același semn**

- Deplasați sfera 1 cu căruciorul la distanța maximă.
- Conectați sursa de tensiune înaltă și fixați tensiunea de ieșire la 25 kV.
- Atingeți cele două sfere succesiv cu punctul (a) al cablului de tensiune înaltă.
- Reduceți tensiunea înaltă la zero.
- Realizați compensația de zero fixând butonul COMPENSATION al newtonmetrului pe SET.
- Deplasați sfera 1 spre sfera 2, măsurați forța în funcție de distanța dintre centrele sferelor și notați valorile în tabelul de mai jos.

a1). Măsurători cu sarcini electrice de semne diferite

- Deplasați sfera 1 cu căruciorul la distanța maximă.
- Efectuați din nou compensația de zero a newtonmetrului.
- Încărcați din sfera 2.
- Fixați tensiunea de ieșire la 0 și schimbați polaritatea (cablul de înaltă tensiune la polul negativ și împământarea la polul pozitiv).
- Fixați tensiunea de ieșire la 25 kV și reîncărcați negativ sfera 1.
- Deplasați sfera 1 spre sfera 2, măsurați forța în funcție de distanța dintre centrele sferelor și notați valorile în tabelul 1.

Tabelul 1

r (cm)	$F (q_1 > 0, q_2 > 0)$ (mN)	$F (q_1 < 0, q_2 > 0)$ (mN)
4		

5		
6		
7		
8		
9		
10		
15		
20		
25		

b). Măsurarea forței în funcție de valoarea sarcinilor electrice

b1). Măsurarea sarcinii electrice a sferelor

- Deplasați sfera 1 cu căruciorul la distanța maximă.
- Fixați tensiunea de ieșire la zero și schimbați polaritatea.
- Încărcați sfera 1 pozitiv la tensiunea de 24 kV și fixați din nou tensiunea de ieșire la zero.

- În timpul măsurărilor țineți bagheta (f) în mână. Deplasați cușca Faraday cu bagheta izolatoare (fig. 5)

Repețiți măsurătorile pentru valori ale tensiunii electrice de ieșire de 20 kV, 15 kV, 10 kV și 5 kV. Înainte de fiecare măsurătoare descărcați sfera prin atingere cu bagheta izolatoare.

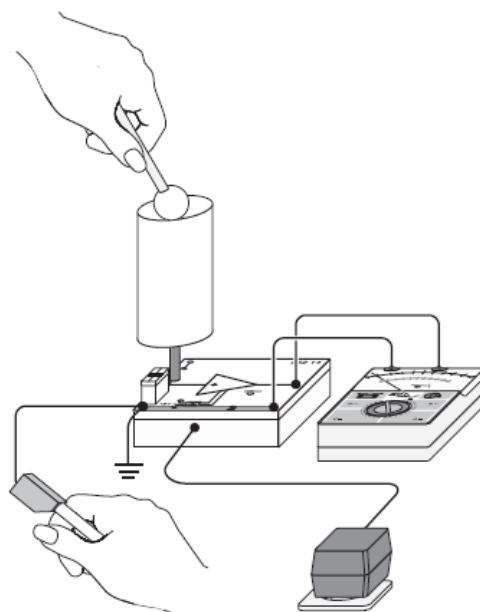


Fig. 5

b2). Măsurarea forței în funcție de sarcina de pe sfera 2 ($q_1 > 0, q_2 > 0$)

- Fixați cele două sfere din nou și deplasați sfera 1 la distanța maximă.
- Compensați din nou newtonmetrul.

- Încărcați sfera 1 la tensiunea de 25 kV.
- Încărcați sfera 2 succesiv la 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV și 25 kV menținând sferile la distanța maximă. Înainte de fiecare încărcare readuceți sursa de tensiune înaltă la zero, alegeți pentru măsurarea forței distanța $r = 6,0$ cm și notați valorile în tabelul 2.

Tabelul 2

U (kV)	q_2 (nC)	F (mN)
5		
10		
15		
20		
25		

b3). Măsurarea forței în funcție de sarcina de pe sfera 1 ($q_1 < 0$, $q_2 > 0$)

- Deplasați sfera 1 la distanța maximă.
- Compensați din nou newtonmetrul.
- Încărcați sfera 2 la tensiunea de 25 kV.
- Fixați sursa de tensiune înaltă la zero și schimbați polaritatea.
- Încărcați sfera 1 succesiv la - 5 kV, - 10 kV, - 15 kV, - 20 kV și - 25 kV menținând sferile la distanța maximă. Înainte de fiecare încărcare readuceți sursa de tensiune înaltă la zero și alegeți pentru măsurarea forței distanța $r = 6,0$ cm.
- Încărcați sfera 2 succesiv la 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV și 25 kV menținând sferile la distanța maximă. Înainte de fiecare încărcare readuceți sursa de tensiune înaltă la zero și alegeți pentru măsurarea forței distanța $r = 6,0$ cm și notați valorile în tabelul 3.

Tabelul 3

U (kV)	q_1 (nC)	F (mN)
- 5		
- 10		
- 15		
- 20		
- 25		

Prelucrarea datelor experimentale**a). Măsurarea forței în funcție de distanța dintre centrele sferelor**

Reprezentați grafic valorile obținute pentru forță F în mN în funcție de distanța r dintre centrele sferelor și respectiv în funcție $\frac{1}{r^2}$ utilizând datele din tabelul 1.

Verificați dependența $F \propto \frac{1}{r^2}$.

b). Măsurarea forței în funcție de valoarea sarcinilor electrice

Reprezentați grafic valorile obținute pentru forță F în mN în funcție de distanța de sarcinile electrice utilizând datele din tabelul 3.

c). Estimarea valorii permitivității electrice a vidului

Rescriem expresia (2) a forței sub forma

$$\varepsilon_0 = \frac{\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q_1}{r^2}}{\frac{F}{q_2}},$$

unde $\frac{F}{q_2}$ este panta graficului al doilea. Introducând valorile corespunzătoare pentru q_1 și r , obțineți valoarea pentru ε_0 .

Comparați rezultatul obținut cu valoarea din literatura de specialitate, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.