

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCURESTI  
CATEDRA DE FIZICĂ**

**LABORATORUL ELECTRICITATE SI MAGNETISM**

**BN – 119**

**FORȚA ELECTROSTATICĂ. VERIFICAREA INDIRECTĂ  
A LEGII LUI COULOMB**

**2007**

# FORȚA ELECTROSTATICĂ. VERIFICAREA INDIRECTĂ A LEGII LUI COULOMB

**1. Scopul lucrării** constă în verificarea indirectă a legii lui Coulomb prin măsurarea forței de atracție dintre plăcile unui condensator plan încărcat electric.

## 2. Teoria lucrării.

Experiența demonstrează că atunci când obiecte încărcate electric sunt așezate unele în apropierea celorlalte, acestea se atrag sau se resping, în funcție de tipul de sarcină electrică cu care sunt încărcate (pozitivă sau negativă). Charles-Augustin Coulomb, la sfârșitul secolului al 18-lea, a utilizat o balanță de torsiune sensibilă electrostatic pentru a studia natura acestei interacțiuni. După măsurători atente asupra mărimii sarcinii electrice a corpurilor, a distanței dintre sarcinile electrice și a forțelor care acționează între acestea a ajuns la următoarele concluzii:

- intensitatea forței este direct proporțională cu produsul sarcinilor electrice;
- intensitatea forței este invers proporțională cu pătratul distanței dintre sarcinile electrice;
- forța de interacțiune este orientată de-a lungul dreptei ce unește cele două sarcini electrice;
- intensitatea forței depinde de proprietățile substanței în care se află sarcinile electrice;
- forța este de respingere dacă sarcinile au același semn și de atracție dacă sarcinile au semne opuse.

Toate aceste concluzii sunt conținute în următoarea relație matematică:

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

unde  $\epsilon_0$  este permitivitatea vidului, iar  $\epsilon_r$  permitivitatea relativă a mediului în care se află sarcinile electrice (fig. 1). Această relație poartă numele de *legea lui Coulomb*.

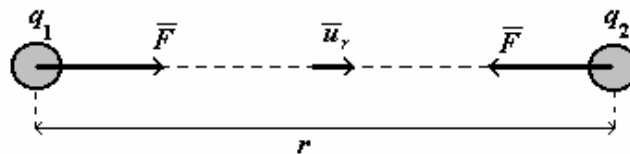


Fig. 1. Legea lui Coulomb

Legea lui Coulomb este verificată de experiență doar dacă sarcinile electrice pot fi considerate punctuale, adică dimensiunile liniare ale corpurilor încărcate electric sunt mult mai mici decât distanța  $r$  dintre centrele celor două corpuri.

Verificarea directă a legii lui Coulomb necesită măsurători cu o balanță electrostatică, care sunt foarte delicate deoarece valoarea forței este foarte mică dacă se respectă condiția ca dimensiunile liniare ale corpurilor încărcate electric să fie mult mai mici decât distanța dintre centrele celor două corpuri încărcate electric. Din aceste motive vom recurge la un dispozitiv cu care se poate verifica indirect legea lui Coulomb.

Dispozitivul experimental este format din două discuri metalice paralele (fig.2) care formează un condensator plan. Capacitatea condensatorului plan se calculează ușor și suficient de exact dacă distanța  $d$  dintre plăci este mult mai mică decât raza  $R$  a plăcilor.

Plăcile condensatorului sunt încărcate electric cu ajutorul unei surse de înaltă tensiune (ÎT) de curent continuu. Astfel, discurile se încarcă cu sarcini egale și de semn opus.

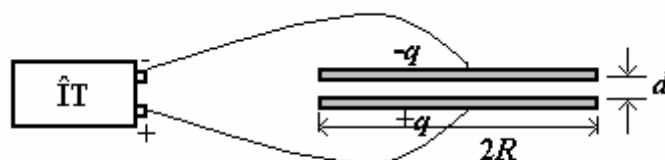


Fig. 2. Dispozitivul experimental

Conform legii lui Coulomb, între sarcinile  $+q$  și  $-q$  de pe cele două discuri metalice apare o forță de atracție care poate fi măsurată cu ajutorul unei balanțe al cărei braț este legat de placa superioară, iar placa inferioară este fixată.

Între plăcile condensatorului plan liniile de câmp sunt paralele și echidistante (fig. 3). La marginea plăcilor, liniile de câmp electric se curbează și apare *efectul de margine* care poate fi neglijat doar dacă raportul  $d/R \ll 1$ .

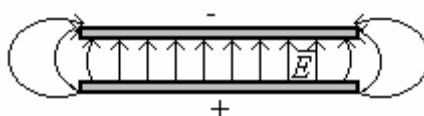


Fig. 3. Liniile de câmp electric într-un condensator plan

În spațiul dintre cele două plăci intensitatea câmpului electric este dată de ambele sarcini electrice. Ținând cont de convenția pentru sensul vectorului câmp electric (iese din + și intră în -), în orice punct vectorii intensitate câmp electric, ce caracterizează câmpurile create de cele două sarcini electrice, se adună. Pentru a deduce expresia forței de

interacțiune dintre cele două plăci considerăm că sarcina electrică de pe fiecare din acestea se află în câmpul electric creat de cealaltă sarcină electrică. Astfel,

$$\bar{F} = q \frac{\bar{E}}{2}, \text{ unde } E = \frac{U}{d}, \text{ iar } U = \frac{q}{C} = \frac{qd}{\epsilon S},$$

astfel că

$$F = \frac{q^2}{2\epsilon S} = \epsilon S \frac{U^2}{2d^2}, \quad (1)$$

unde  $U$  este tensiunea electrică aplicată pe cele două plăci,  $d$  distanța dintre plăci,  $S$  este aria unei plăci, iar  $C = \frac{\epsilon S}{d}$  este capacitatea condensatorului plan format de cele două plăci.

În deducerea expresiei capacității condensatorului plan  $C = \frac{\epsilon S}{d}$  nu am ținut cont de efectul de margine care constă în curbarea liniilor de câmp electric la marginea condensatorului format de cele două plăci. (fig. 3). Pentru realizarea unor determinări ale mărimilor fizice mai precise trebuie ținut cont de acest efect, ceea ce vom face în cele ce urmează.

Existența marginilor libere ale armăturilor unui condensator modifică uniformitatea distribuției sarcinii electrice de pe acestea. Problema trebuie tratată ca o problemă la limita de separație a două medii. Astfel, datorită variației componente normale pe armături a vectorului inducție electrică apare o densitate superficială de sarcină suplimentară pe armături. După un calcul laborios, pentru armături de formă circulară, cu raza  $R$  și distanța  $d$  dintre armături se obține pentru expresia capacității condensatorului:

$$C' = \frac{\epsilon_0 \pi R^2}{d} + \epsilon_0 R \left( \ln \frac{16\pi R}{d} - 1 \right) = C \left[ 1 + \frac{d}{\pi R} \left( \ln \frac{16\pi R}{d} - 1 \right) \right] = fC,$$

unde

$$f = 1 + \frac{d}{\pi R} \left( \ln \frac{16\pi R}{d} - 1 \right) \quad (2)$$

este un *factor de corecție* care ține cont de acest efect în calculul capacității condensatorului plan. Introducerea acestui factor de corecție înseamnă înlocuirea ariei plăcilor cu o arie numită efectivă,  $S_{ef} = fS$ .

În figura 4 este reprezentat grafic factorul de corecție  $f$  în funcție de raportul  $d/R$  între distanța  $d$  dintre plăci și raza  $R$  a acestora.

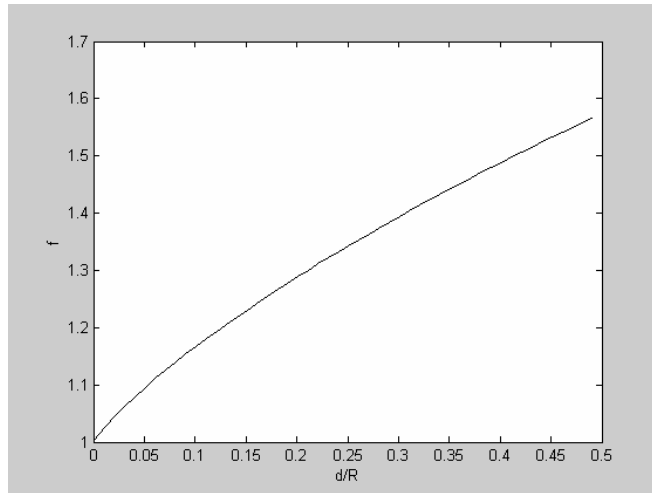


Fig. 4. Dependența factorului de corecție  $f$  de raportul  $d/R$

### 3. Montajul experimental conține:

- balanța de precizie cu trusa de greutăți;
- un electrod circular egal ca dimensiuni cu cel al platanului balanței, care este legat la polul pozitiv al unei surse de înaltă tensiune;
- sursa de curent continuu și înaltă tensiune (0 – 10 000 V) reglabilă continuu;
- discuri distanțoare pentru modificarea distanței  $d$  dintre plăcile condensatorului;
- fire de legătură.

În figura 5 este prezentată schema montajului experimental.

Borna negativă a sursei de înaltă tensiune (în contact cu masa sursei trebuie legată obligatoriu la centura de împământare a laboratorului) se leagă la discul (placa) superior prin intermediul suportului balanței.

#### **ATENȚIE**

1. VERIFICAȚI MONTAJUL ÎNAINTE DE PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE.
2. NU ATINGEȚI ÎN TIMPUL EXPERIENȚEI ELECTROZII CONDENSATORULUI. **PERICOL DE ELECTROCUTARE!**
3. ALIMENTAȚI CONDENSATORUL CU TENSIUNE NUMAI CU UȘA BALANȚEI ÎNCHISĂ.

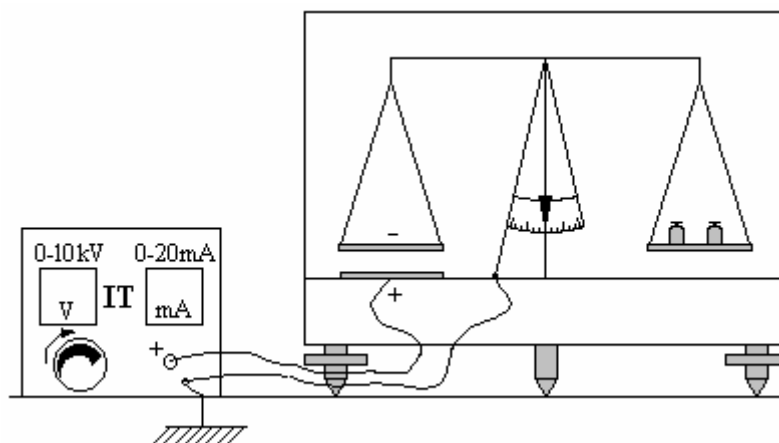


Fig. 5. Montajul experimental

#### 4. Modul de lucru

Orice intervenție efectuată în incinta balanței se va face numai cu sursa de înaltă tensiune (ÎT) deconectată și cu brațul balanței blocat. Brațul balanței se va debloca doar după închiderea ușii balanței. Blocarea și deblocarea brațului balanței se efectuează prin rotirea lentă, fără efort, a mânerului aflat în partea exterioară, în stânga balanței.

Pentru efectuarea măsurătorilor veți parcurge următoarele etape.

1. Verificați orizontalitatea măsutei balanței cu nuvela cu bulă de aer fixată pe măsuta balanței. Reglarea se face cu ajutorul șuruburilor din stânga și dreapta postamentului balanței.

2. Verificați ca brațul balanței să fie perfect orizontal. Pentru aceasta trebuie ca acul indicator al brațului balanței să fie în dreptul diviziunii zero al scalei gradate. Reglajul se realizează prin adăugarea de greutate pe unul din platanele balanței. După realizarea operației blocați balanța.

3. Potrivii discul inferior sub cel superior la distanța maximă posibilă. Măsurați distanța dintre cele două discuri.

4. Așezați cu penseta o greutate marcată din trusă pe platanul drept al balanței. Închideți ușa balanței.

5. Deblocați foarte încet brațul balanței.

**Atenție.** Deblocați balanța prin rotirea lentă a mânerului de deblocare atât cât să apară o deviere de cel mult 4 diviziuni a acului indicator pe scara gradată care se află pe piciorul suport al balanței. Astfel se asigură o distanță aproximativ constantă între plăcile condensatorului.

6. Alimentați sursa de înaltă tensiune (ÎT) și măriți încet tensiunea dintre cele două plăci ale condensatorului, cu ajutorul potențiometrului, până când platanele balanței se echilibrează.

7. Reduceți lent tensiunea electrică până ce forța de atracție electrostatică devine puțin mai mică decât greutatea pusă pe platanul balanței (cu o diviziune), iar balanța se dezechilibrează

8. Notați valoarea tensiunii electrice  $U$  corespunzătoare acestei situații.

9. Refaceți măsurătoarea măbind încet tensiunea electrică până la reechilibrare sau o dezechilibrare ușor (o diviziune) deasupra celei de mai sus (forța de atracție electrostatică mai mare ca greutatea de pe platanul balanței).

10. Notați noua valoare a tensiunii electrice.

11. Faceți media celor două valori.

12. Repetați fiecare din aceste măsurători de trei ori.

13. Repetați toate operațiile de mai sus pentru 5 (cinci) greutateți diferite din trusă.

14. Pentru una din greutateți (de exemplu, cea de 0,5 g) repetați măsurătorile la distanțe diferite dintre plăci (cel puțin 5 valori diferite). Distanța  $d$  se modifică prin așezarea între discul inferior și măsuta balanței a 1, 2 sau 3 plăcuțe din material conductor electric de grosime cunoscută, care se măsoară cu o riglă.

**Aceste operații se fac cu sursa de ÎT deconectată și cu condensatorul scurtcircuitat!**

15. Treceți valorile obținute într-un tabel ca cel de mai jos.

Raza  $R = 30$  mm.

Masa greutateții de pe platan în mg		100		150		200		250		300							
Distanța $d$																	
$d^2$																	
Tensiunea electrică dintre plăci la cele două dezechilibrări	Măsurătoarea		dr	st	dr	st	dr	st	dr	st	dr	st	dr	st	dr	st	
		1															
		2															
		3															
Valoarea medie a tensiunii electrice, $U$																	
$U^2$																	

## 5. Prelucrarea datelor experimentale.

1. Reprezentați grafic  $F = F(U^2)$  la  $d = \text{constant}$  și separat  $F = F(d^2)$  pentru  $U = \text{constant}$ . Comparați rezultatele (forma curbei obținute) cu relația (1). Veți utiliza programul MATLAB.
2. Introduceți factorul de corecție utilizând relația (2), reprezentați din nou curbele de mai sus și apreciați în ce mod se modifică rezultatul obținut.
3. Calculați din panta dreptelor valoarea lui  $\varepsilon$  în cele două cazuri. Comparați rezultatele cu cel găsit în tabelele cu constante fizice.