

Intensitatea și potențialul câmpului electrostatic generat de sfere metalice conductoare încărcate electric Legea Coulomb

Scurtă descriere

Sfere metalice conductoare, de diferite diametre, vor fi încărcate electric. Potențialele electrostatice și intensitățile câmpurilor electrice care sunt generate vor fi determinate cu o sondă de măsurare a potențialului electric, în funcție de poziția sferelor metalice și în funcție de potențialul la care sunt încărcate sferele conductoare.

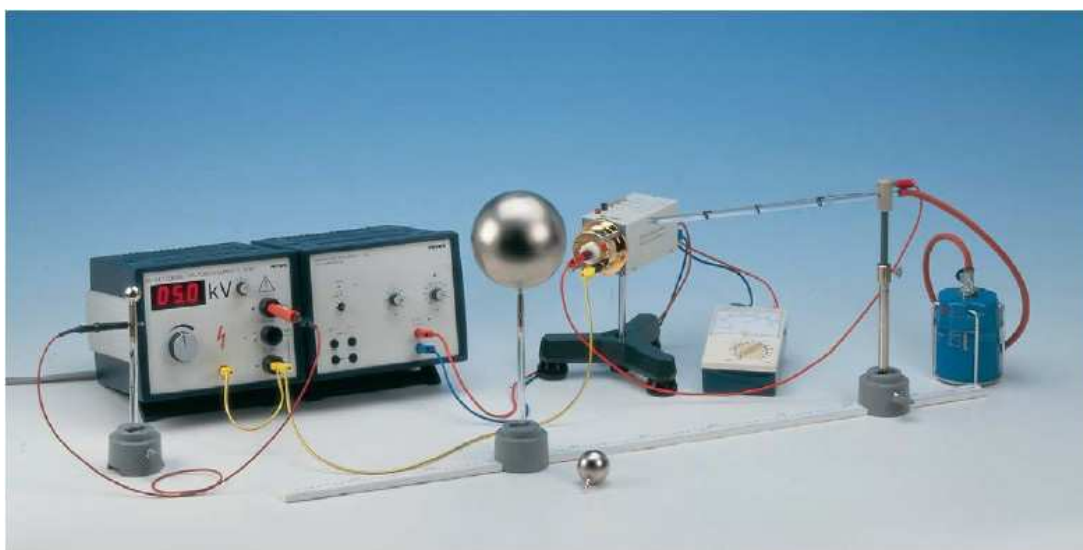


Figura 1: Montaj experimental

Echipament

Nr.	Materiale	Cantitate
1	Instrument de măsurare a câmpului electric	1
2	Sondă de probă	1
3	Condensator plan cu orificiu, diametru 55mm	1
4	Sursă de tensiune cu afișaj digital CC: 0... +/-10kV, 2mA	1
5	Sferă conductoare, diametru 20mm	1
6	Sferă conductoare, diametru 40mm	1
7	Sferă conductoare, diametru 120mm	1
8	Rezistență de siguranță, 10MOhmi	1
9	Capac izolator	2
10	Sursă de tensiune în CC: 0...12 V, 2 A / CA: 6 V, 12 V, 5 A	1
11	Multimetru, analog	1
12	Suport bază	3
13	Suport tub	1
14	Suport trepied	1
15	Riglă, lungime l=1000mm	1
16	Tub cauciuc, 6mm	1
17	Lampă cu flacără, rezervor butan, X2000	1
18	Rezervor reîncărcabil C206, fără valvă	1
19	Cablu de legătură, 30 kV, 500 mm	1
20	Cablu de legătură, 32 A, 750 mm, roșu	1
21	Cablu de legătură, 32 A, 750 mm, albastru	1
22	Cablu de legătură, 32 A. 750 mm, verde-galben	1
23	Cablu de legătură, 32 A. 750 mm, verde-galben	1

Obiective

1. Pentru sfera conductoare de diametru $2R=12\text{cm}$, potențialul electrostatic va fi determinat în funcție de tensiunea la care este încărcată. Pentru fiecare tensiune de încărcare sfera rămâne în poziție fixată față de sonda de măsurare.
2. Pentru sfere conductoare de diametre $2R=12\text{cm}$ și $2R=4\text{cm}$, va fi determinat potențialul electrostatic la o tensiune de încărcare fixă a acestora, în funcție de diferite distanțe la care sunt plasate sferele.
3. Pentru ambele sfere metalice, intensitatea câmpului electric este determinată ca o funcție de tensiunile de încărcare la trei distanțe diferite față de suprafața sferelor.
4. Pentru sfera conductoare de diametru $2R=12\text{cm}$, intensitatea câmpului electric este determinată în funcție de distanța față de suprafața sferei la o tensiune de încărcare constantă.

Mod de lucru

Partea 1: Potențialul Coulombian

Montajul experimental este reprezentat în Fig.1. Pe instrumentul de măsură a câmpului electric ar trebui adăugat dispozitivul de măsurare a tensiunii, la care este legată sonda de măsurare a potențialului. Partea adăugată și instrumentul de măsură a câmpului electric trebuie să fie împământate. Tubul de sticlă al sondei de măsurare a potențialului este legat la lampa cu gaz printr-un tub de cauciuc. Flacăra trebuie reglată astfel încât să aibă aproximativ 5mm peste vârful sondei. Acest lucru asigură ionizarea aerului pe vârful sondei, pentru a avea un volum conductiv de aer în fața sondei.

Sferele conductoare, care sunt montate pe suporti izolatori, sunt legate la polul pozitiv al sursei de înaltă tensiune printr-un cablu de înaltă tensiune, printr-o rezistență de siguranță 10M Ω . Polul negativ al sursei de tensiune este împământat.

Pentru început, potențialul electrostatic al unei sfere încărcate este determinat în funcție de tensiune. Se aplică tensiuni cu pasul de 1kV până la maximum 5kV sferei cu diametrul $2R=12\text{cm}$. În timpul acestei proceduri, sonda de măsurare ar trebui situată la aproximativ 25 de cm față de suprafața sferei.

Pentru a determina potențialul în funcție de distanța față de centrul sferei, se aplică o tensiune de 1000V sferei cu diametrul $2R=12\text{cm}$. Această tensiune poate fi măsurată direct cu ajutorul instrumentului de măsură a câmpului electric, în timp ce vârful sondei atinge suprafața sferei. La început, vârful sondei este situat la 1cm față de suprafața sferei. Potențialul este apoi măsurat în pași de 1cm. Măsurătoarea este repetată în acest mod și pentru sfera conductoare de diametru $2R=4\text{cm}$.

Partea 2: Intensitatea câmpului electric Coulombian

Montajul experimental este modificat conform Fig. 2. Sfera conductoare ($2R=2\text{cm}$), ținută pe un suport izolator, este legată la polul pozitiv al sursei de înaltă tensiune, după cum este descris mai înainte. Sfera astfel încărcată este folosită la încărcarea sferelor de măsurat mai departe.

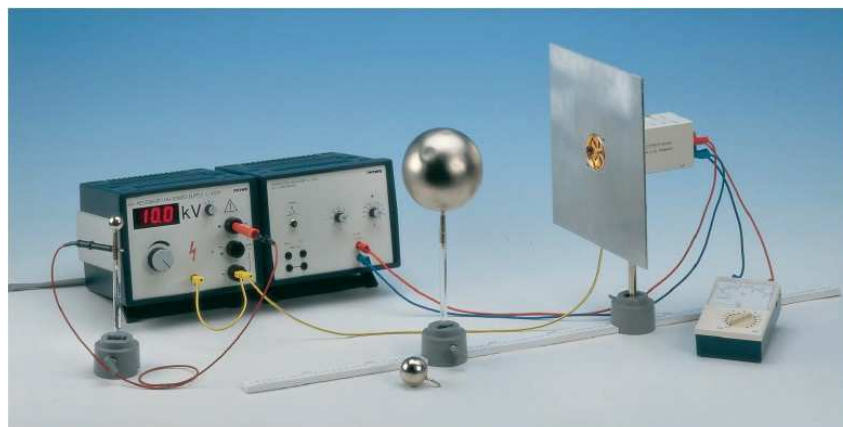


Figura 2: Montaj experimental pentru măsurarea intensității câmpului electric

Înălțimea instrumentului de măsurare a câmpului electric, cu placa plană de condensator atașată, este reglată cu ajutorul clemelor din suporti în așa fel încât instrumentul de măsură să se afle în planul ecuatorial al sferei căreia îi măsoară câmpul electric.

Pentru a determina intensitatea câmpului electric în funcție de tensiunea de încărcare a sferei, suprafața sferei conductoare de $2R=12\text{cm}$ este situată succesiv la distanțele $r_1 = 25\text{cm}$, $r_2 = 50\text{cm}$, $r_3 = 75\text{cm}$ față de placa plană a condensatorului instrumentului de măsură a câmpului electric.

Sfera de măsurat este încărcată la o tensiune maximă de 10 kV, în pași de 1kV. După fiecare procedură de încărcare, sursa de tensiune înaltă este reglată înapoi la zero volți; după fiecare măsurătoare, sfera încărcată trebuie să fie atinsă scurt cu un capăt de cablu legat la împământare, pentru a se descărca.

Teorie și evaluare

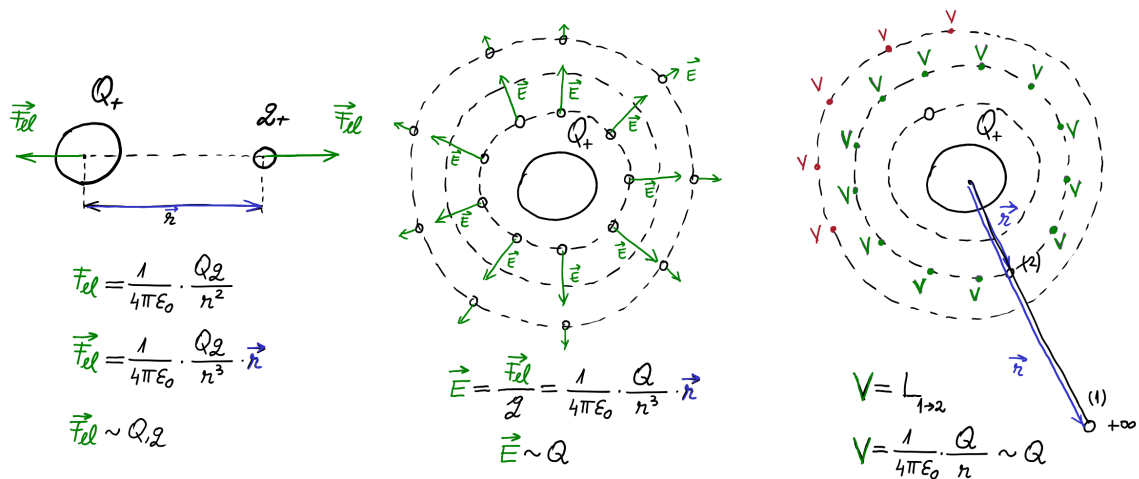


Figura 3: Forța electrică dintre două sarcini punctiforme F_{el} , Intensitatea câmpului electric al unei sarcini punctiforme \vec{E} , Potențialul electric, V , al unei sarcini punctiforme

La o distanță r față de suprafața sferei, potențialul electric al sferei conductoare încărcate electric este:

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r} \quad (1)$$

Q - sarcina electrică, ϵ_0 - permitivitatea electrică a vidului

Dacă sfera are o capacitate electrică C , iar raza ei este R , sarcina Q data de tensiunea U este dată de:

$$Q = CU = 4\pi\epsilon_0 \cdot R \cdot U \quad (2)$$

Înlocuind (2) în ecuația (1) obținem următoarea relație:

$$V(r) = \frac{R}{r} \cdot U \quad (3)$$

Conform (3), Fig. 4 arată dependența liniară a potențialului $V=V(U)$, la o distanță $r=const=18\text{ cm}$, măsurată pentru sfera conductoare de diametru $2R=12\text{cm}$.

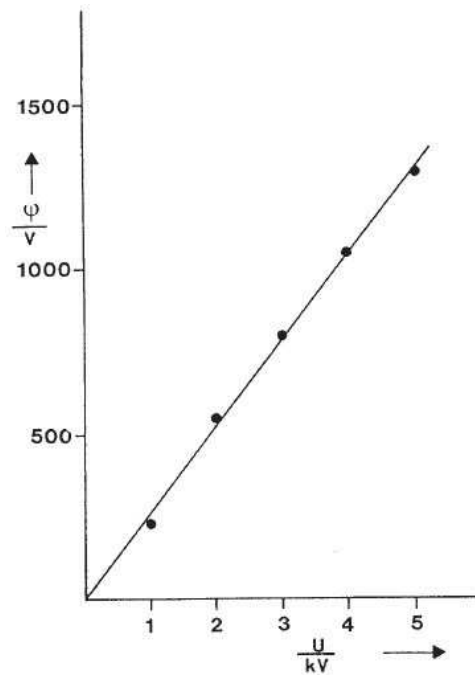


Figura 4: Potențialul electric în funcție de tensiunea electrică de încărcare

Logaritmând ecuație 3, se obține:

$$\log V = -\log r + \log R + \log U = -\log r + k \quad (4)$$

dacă U și R sunt constante. (se obține o dreaptă cu panta $m = -1$)

În Fig.5, potențialul V este reprezentat în funcție de distanța r , pe o scară dublu logaritmică (adică axa absciselor nu este liniară, ci logaritmică), distanța r fiind măsurată de la centrul sferei. Fig.5a arată rezultatul măsurărilor pentru sfera conductoare de diametru $2R=12\text{cm}$, Fig.5b arată rezultatul măsurărilor sferei de diametru $2R=4\text{cm}$. Tensiunea aplicată sferelor a fost de 1000 pentru fiecare în parte. În ambele cazuri, panta graficului care este o linie a fost ≈ -1 . **Conform cu (4) faptul că punctele se așează pe o dreaptă în grafice din Fig.5 este dovada experimentală a faptului că potențialul electric depinde invers proporțional de $\frac{1}{r}$**

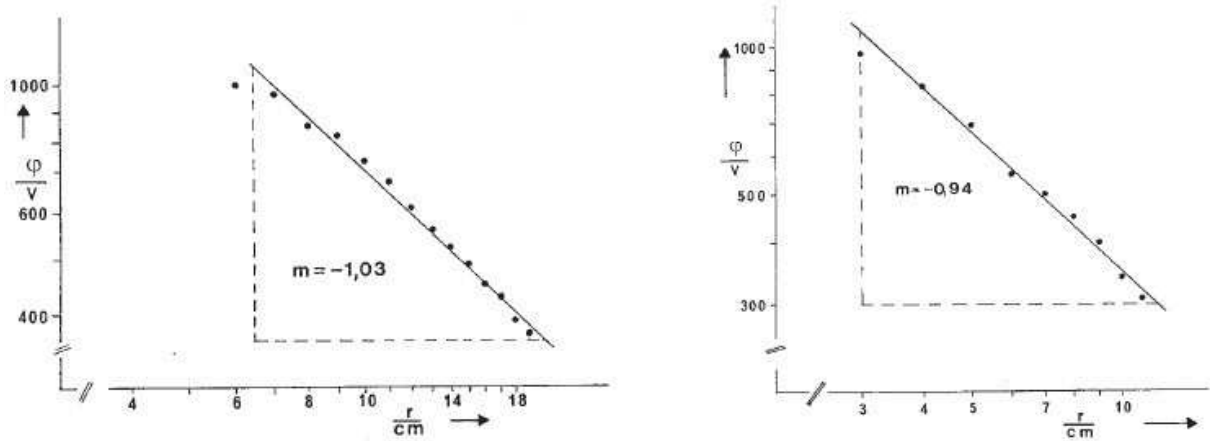


Figura 5: Potențialul electric în funcție de distanța r reprezentată în scară dublă logaritmică. Fig 5a: Sfera de diametru $2R=12\text{cm}$. Fig 5b: Sferă de diametru $2R=4\text{cm}$

Dacă potențialul câmpului $V(r)$ este cunoscut, intensitatea câmpului electric Coulombian \vec{E} a sarcinii electrice Q se obține din gradientul negativ al potențialului:

$$E = -\text{grad}V = -dV/dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad (5)$$

Operația matematică **gradient**, operând asupra unui câmp de scalari, returnează fiecărui punct din spațiu căreia i se asociază un scalar V , un vector \vec{E} .

Pentru a determina intensitatea câmpului electric \vec{E} , placa plană a condensatorului este plasată în fața instrumentului de măsură a câmpului electric pentru a obține distribuție spațială nedistorsionată a câmpului. Acest lucru este schițat în Fig.6. O sarcină imagine este indusă prin intermediul plăcii, astfel că placa este situată simetric central între sarcina reală și sarcina virtuală. Sarcina Q din (5) trebuie astfel înmulțită cu 2.

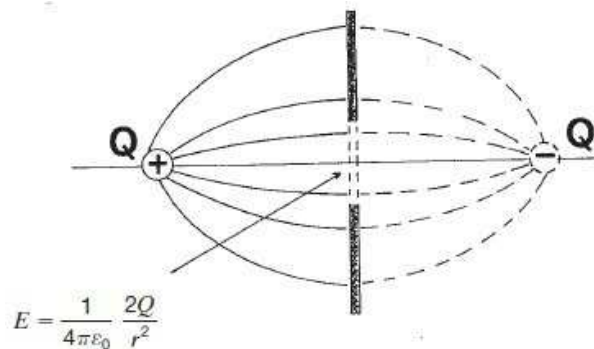


Figura 6: Geometria câmpului electric indus de sarcina electrică de pe sfera conductoare

Înlocuind valoarea Q din (2) în (5) și considerând dublarea sarcinii, rezultă:

$$E = \frac{2R}{r^2} \cdot U \quad (6)$$

$$y = m \cdot x + n \quad (7)$$

Dependeta intensității câmpului electric \vec{E} este reprezentată în funcție de tensiunea U în Fig. 7

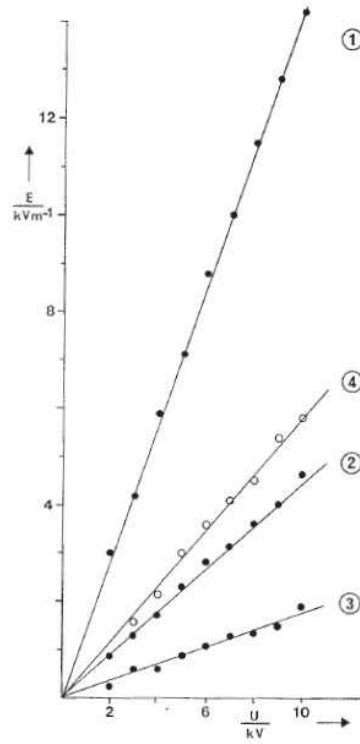


Figura 7: Intensitatea câmpului electric în funcție de tensiune. Graficele 1-3: sfera cu $2R=12\text{cm}$, $r_1=25\text{cm}$, $r_2=50\text{cm}$, $r_3=75\text{cm}$. Graficul 4: sfera cu $2R=4\text{cm}$, $r_1=25\text{cm}$

O **comparație** a pantelor graficelor dreptelor $\Delta E/\Delta U$ determinate experimental, cu valorile corespunzătoare rapoartelor $2R/r^2$, rezultă în găsirea unei potriviri satisfăcătoare între perechile de valori comparate.

Pe de o parte găsim valoarea $2R/r^2$ din panta graficului, pe de altă parte aflăm valoarea raportului din calculul efectiv al raport razei sferei R folosite și distanțelor r considerate:

Grafic 1: $\Delta E/\Delta U = 1.44 \text{ m}^{-1}$, $2R/r^2 = 1.25 \text{ m}^{-1}$

Grafic 2: $\Delta E/\Delta U = 0.44 \text{ m}^{-1}$, $2R/r^2 = 0.38 \text{ m}^{-1}$

Grafic 3: $\Delta E/\Delta U = 0.18 \text{ m}^{-1}$, $2R/r^2 = 0.18 \text{ m}^{-1}$

Grafic 4: $\Delta E/\Delta U = 0.58 \text{ m}^{-1}$, $2R/r^2 = 0.55 \text{ m}^{-1}$

În Fig.8, intensitatea câmpului electric E , măsurată pentru sfera de diametru $2R=12$ cm încărcată la 10 kV, este reprezentată pe o scară cu abscisele în scară dublu-logaritmică.

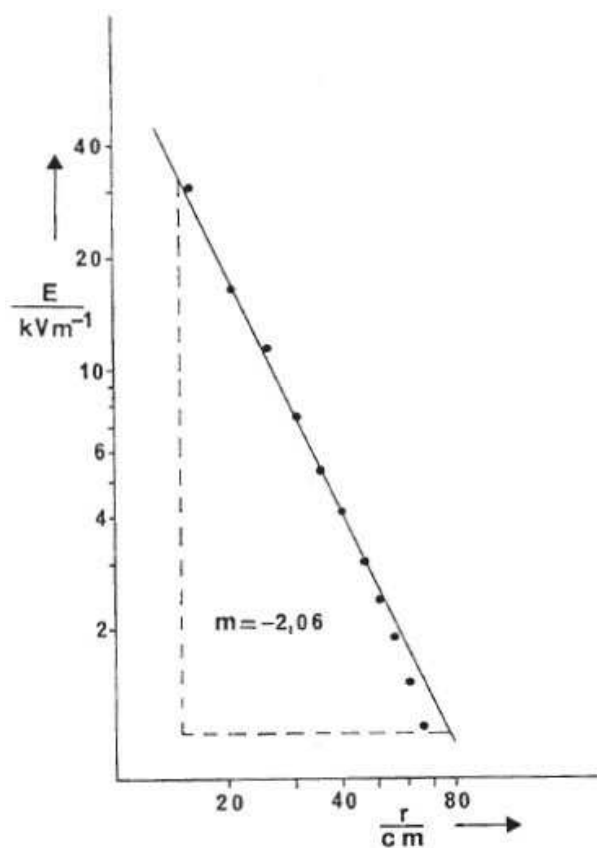


Figura 8: Intensitatea câmpului electric E în funcție de distanța r pe o scară dublu logaritmică. Sfera folosită: sfera cu diametru $2R=12$ cm

Obiectiv 1.

distanță $r = \text{const} = 18\text{cm}$, sferă $2R = 12\text{cm}$

Tensiune U (kV)	Potențial electric (V)
1kV	
2kV	
3kV	
4kV	
5kV	

Reprezentați grafic dependența potențialului electric V în funcție de tensiunea de încărcare.

Obiectiv 2.

Tensiune încărcare $U=1000\text{ V}$,
sferă $2R=12\text{cm}$

r (cm)	Potențial V (V)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	

Tensiune încărcare $U=1000\text{ V}$,
sferă $2R=4\text{cm}$

r (cm)	Potențial V (V)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	

Reprezentați grafic dependența potențialului electric V în funcție de distanță.
Verificați Legea Coulomb.

Obiectiv 3.

sferă $2R=12\text{cm}$, $r_1 = 25\text{cm}$

Tensiune (kV)	Intensitatea câmpului electric (kV/m)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

sferă $2R=12\text{cm}$ $r_1 = 50\text{cm}$

Tensiune (kV)	Intensitatea câmpului electric (kV/m)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

sferă $2R=12\text{cm}$ $r_1 = 75\text{cm}$

Tensiune (kV)	Intensitatea câmpului electric (kV/m)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Comparați pantele graficelor dreptelor $\Delta E/\Delta U$ determinate experimental, cu valorile corespunzătoare rapoartelor $2R/r^2$.