

# FENOMENE ELECTRICE

## A. CÂMPUL ELECTROSTATIC

### 1. Natura electricității.

Fenomenele electrice sunt procese din natură care se manifestă asupra corpurilor încărcate cu sarcină electrică. În Fig. 1 puteți vedea câteva exemple de fenomene electrice care se produc frecvent în natură și care sunt ușor vizibile.



Fig. 1

Teoria electricității, ca și a magnetismului, este mult mai recentă decât optica sau mecanica. Mirajul electricității a stârnit imaginația oamenilor încă din antichitate. Se pare că primele studii de electricitate au fost efectuate în sec. al VI-lea î.Cr. de Tales din Milet, care observat că unele substanțe pot atrage corpuri mai ușoare după ce sunt frecate de alte materiale.

Explicarea naturii electricității s-a lăsat îndelung așteptată. Studii aprofundate de electricitate s-au produs începând cu sec. al XVII-lea. Progresele fizicii în acest domeniu încep să fie evidente spre sfârșitul secolului al XVIII-lea și începutul secolului al XIX-lea, când au fost întreprinse experiențe mai numeroase, mai ingenioase, iar apoi prin elaborarea teoriei electricității pe baza unui aparat matematic din ce în ce mai complex.

Ceea ce au întâlnit cercetătorii la sfârșitul sec. al XVII-lea și începutul sec. al XVIII-lea erau fenomene complicate, precum electrizarea prin frecare, producerea de scântei, influența umezelii aerului asupra fenomenului de electrizare, etc., fenomene pe care nu puteau să și le explice, datorită lipsei noțiunilor fundamentale în domeniul electrostaticii.

Totuși din această perioadă datează o serie de observații calitative cum ar fi deosebirea dintre conductorii electrice și izolatori, influența corpurilor încărcate cu electricitate asupra conductorilor izolați, sau existența celor două tipuri de sarcină electrică: pozitivă și negativă.

Corpurile care prin frecare căpătă proprietatea de a atrage alte corpuri au fost numite **corpuri electrizate**, iar ceea ce conferă corpurilor această proprietate a fost numită **electricitate**. În limitele unor concepții naive se admitea existența a două fluide, unul pozitiv și altul negativ, care ar conferi corpului electrizat tipul de electricitate. Mai târziu [Benjamin Franklin](#) a presupus că electrizarea corpului este efectul prezenței sau absenței unui singur tip de fluid. Prezența lui în exces, peste starea electrizată, conferă corpului o electricitate negativă, iar absența lui indică o încărcare cu electricitate pozitivă. **Franklin a mai presupus că fluidul negativ este compus din particule, indicând astfel modul de electrizare a sticlei și a ebonitei, cu 100 de ani înaintea descoperirii electronului!**

Teoria electricității macroscopice a început să se dezvolte abia după conturarea mecanicii clasice și perfecționarea aparatului matematic și se poate considera încheiată în cursul sec. al XIX-lea.

Clarificarea naturii electricității, a purtătorului microscopic de sarcină electrică, a devenit o realitate la sfârșitul acestui secol, odată cu semnarea actului de naștere al fizicii atomice.

Din punct de vedere al capacității de mișcare există **sarcini libere** și **sarcini legate**. Primele se pot mișca pe spații limitate în solide, lichide, gaze.

**Corpurile în care numărul de sarcini libere este constant și nu depinde de temperatură se numesc conductoare.** Aceasta este situația metalelor și a majorității aliajelor, în care electronii sunt sarcini libere, sau a electrolitelor în care ionii pozitivi și negativi sunt sarcini libere. Dacă punem sarcini în exces acestea se vor distribui pe suprafață.

Corpurile în care sarcinile sunt legate de anumite poziții sunt numite corpuri izolatoare. Materialele izolatoare pot exista în toate stările de agregare: gaze inerte, cum sunt He, Ne, Ar (sarcinile sunt legate la nivelul atomului), gaze moleculare și lichide moleculare, cum sunt hidrogenul, oxigenul, respectiv apa, cu sarcini legate la nivelul moleculei sau solide formate din ioni, cum este clorura de sodiu.

Etimologic vorbind, termenul de electricitate provine din limba greacă **ἤλεκτρον (electron)** = **chihlimbar** și se datorează faptului că primele observații ale fenomenului de electrizare au avut ca obiect de studiu un „bețișor” de chihlimbar.

## 2. Electrizarea corpurilor. Sarcina electrică.

Se poate constata experimental că prin anumite metode, de exemplu prin frecare, corpurile pot fi aduse într-o stare care determină modificarea proprietăților mediului în care acestea se află. Această nouă proprietate a corpului se numește stare de electrizare și este descrisă de mărimea fizică scalară – **sarcina electrică**.

Mărimea fizică – sarcina electrică se notează cu literele **Q** sau **q** și se măsoară în Coulombi, după numele fizicianului francez **Ch. A. Coulomb**:

$$[Q, q]_{SI} = 1C = 1A \cdot 1s \quad (1)$$

**1C reprezintă sarcina electrică transportată prin secțiunea transversală a unui conductor de un curent staționar cu intensitatea de 1A, în timp de 1s.**

Ulterior, oameni au descoperit că electrizarea corpurilor se poate și prin contact și prin influență.

În metale, purtătorii mobili de sarcină sunt electronii.

Electronul este cel mai mic purtător de sarcină electrică. Sarcina electrică a unui electron este:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} C \quad (2)$$

Mecanismul electrizării constă în primirea sau acceptarea de electroni. Corpurile care primesc electroni se încarcă cu sarcină electrică negativă, iar corpurile care cedează electroni se încarcă cu sarcină pozitivă.

Cantitatea de sarcină primită sau cedată de un corp este proporțională cu numărul de electroni primiți sau cedați de corp.

**Sarcina electrică are următoarele proprietăți:**

a) Se conservă. Legea conservării sarcinii a fost formulată de B. Franklin în 1747:

**Suma algebrică a sarcinilor electrice ale unui sistem izolat de corpuri este constantă.**

b) Este cuantificată. Sarcina electrică a unui corp este un multiplu întreg de sarcini elementare

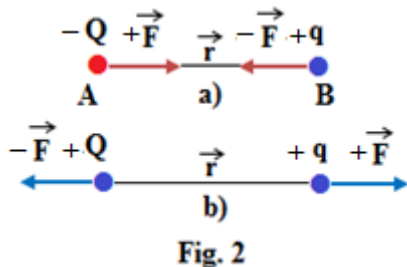
$$Q = n \cdot e \quad (3)$$

Relație cunoscută și sub numele de **relația de cuantificare a sarcinii**, iar n este un număr întreg.

c) Este invariantă. **Valoarea ei nu depinde de sistemul de referință ales, în care se face măsurarea.**

## 3. Legea lui Coulomb

A fost enunțată de Ch. A. Coulomb în anul 1785 ca rezultat al unor studii experimentale, efectuate cu ajutorul unei balanțe de torsione



**Legea lui Coulomb** este o lege experimentală care afirmă că forța de interacțiune dintre două sarcini punctiforme acționează de-a lungul dreptei ce unește centrele celor două sarcini, este direct proporțională cu produsul sarcinilor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

Forța coulombiană este de atracție dacă sarcinile sunt de semne contrare și de respingere dacă sarcinile sunt de același semn, Fig. 2.

Relația scalară, cantitativă, a forței coulombiene este dată de relația:

$$F = k \frac{Q \cdot q}{r^2} \quad (4)$$

unde cu k am notat o constantă de proporționalitate, a cărei valoare depinde de mediul în care se află sarcinile:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad (5)$$

Cu  $\epsilon$  am notat mărimea fizică ce caracterizează proprietățile electrice ale mediului, numită **permitivitatea electrică absolută**. Această mărime are o valoare pentru fiecare mediu în parte.

Pentru vid, de exemplu, permitivitatea electrică absolută are valoarea  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ .

Raportul dintre permitivitatea electrică absolută a mediului și permitivitatea electrică absolută a vidului se numește permitivitate electrică relativă:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (6)$$

Cu aceste notații forța electrostatică se poate scrie:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qq}{\epsilon_r r^2} \quad (7)$$

Putem face notația, efectuând efectiv calculele matematice, notație necesară în rezolvarea problemelor:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \quad (8)$$

Rel. (4) se poate scrie vectorial utilizând versorul vectorului  $\vec{r}$ ,  $\vec{n} = \frac{\vec{r}}{r}$  :

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qq}{\epsilon_r r^2} \cdot \vec{n} \quad (9)$$

Rel. (12) confirmă că forța coulombiană acționează pe direcția razei  $\vec{r}$ , a distanței dintre centrele celor două sarcini, Fig. 2.

#### 4. Câmpul electric. Câmpul electrostatic.

**Câmpul electric** este o formă de existență a materiei care se manifestă prin forțe de interacțiune electrice asupra corpurilor încărcate cu sarcină electrică.

**Câmpul electrostatic** este un câmp electric caracterizat de mărimi invariabile în timp și ne însoțit de transformări de energie, sau altfel spus nu este însoțit de curenți electrice. În acest caz, fenomenele electrice se produc independent de cele magnetice și ca urmare studiul câmpurilor electrice și magnetice se poate face separat.

Câmpul electrostatic este caracterizat de o mărime fizică vectorială, notată cu  $\vec{E}$ , numită **intensitatea câmpului electrostatic** și definită prin relația:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (10)$$

unde  $\vec{F}$  este forța de interacțiune electrostatică, iar  $q$  este sarcina de probă. Prin convenție  $q > 0$ .

**Precizare:** *sarcina de probă este sarcina electrică a unui corp cu ajutorul căreia punem în evidență, probăm existența, câmpului electrostatic*. Cu ajutorul corpului de probă se pot stabili punctual proprietățile câmpului electrostatic, fără a-l perturba.

Dacă avem în vedere rel. (9), rel. (10) devine:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\epsilon_r r^2} \cdot \vec{n} \quad (11)$$

Direcția vectorului  $\vec{E}$  este aceeași cu direcția vectorului  $\vec{F}$ , adică direcția ce unește corpul generator de câmp, de sarcină  $Q$ , cu punctul respectiv.

Sensul vectorului  $\vec{E}$  depinde de semnul sarcinii  $Q$ , Fig. 3 și 4.

Modulul lui  $\vec{E}$  depinde doar de valoarea sarcinii  $Q$ , a corpului generator de câmp și distanța de la punctul considerat și această sarcină, rel. (11).

Deoarece  $\vec{E}$  nu depinde de valoarea sarcinii de probă,  $q$ , rezultă că acesta este o mărime care caracterizează câmpul electric în fiecare punct.

**Câmpul electric al Pământului.** În atmosfera terestră se manifesta un câmp electric creat de ionii rezultați din fenomenul de ionizare a moleculelor de gaz bombardate de radiațiile cosmice. Astfel se formează o pătură sferică conductoare de electricitate la altitudini înalte în jurul Pământului. Dar Pământul conține o anumită cantitate de sarcini electrice, fiind totodată și un foarte bun conducător de electricitate. Pământul și straturile joase ale atmosferei formează o sferă conductoare. Între sfera conductoare formată de Pământ și pătura sferică a ionilor de la altitudini înalte există o pătură sferică de circa 50 km grosime, care nu este un bună conductoare electric. La suprafața Pământului se poate măsura un câmp electrostatic având intensitatea de circa  $E = 100\text{V/m}$ . Considerând raza sferei terestre de 5000 km, se poate determina sarcina electrică superficială pe care o are Pământul, de circa  $3 \cdot 10^5 \text{ C}$ .

### Principiul superpoziției.

Intensitatea unui câmp electric, într-un punct al spațiului, generat de  $n$  sarcini electrice punctiforme izolate,  $q_i$ , cu  $i=1, 2, \dots, n$ , este egală cu suma vectorială a câmpurilor electrice individuale, produse de cele  $n$  sarcini electrice, pe care le-ar crea fiecare, independent de prezența celorlalte.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \quad (12)$$

Este cazul să remarcăm că distribuția sarcinilor este spațială. Cazul în care sarcinile se află într-un plan este un caz particular, folosit pentru a explica și a înțelege mai ușor fenomenul. În Fig. 3 am reprezentat principiul superpoziției

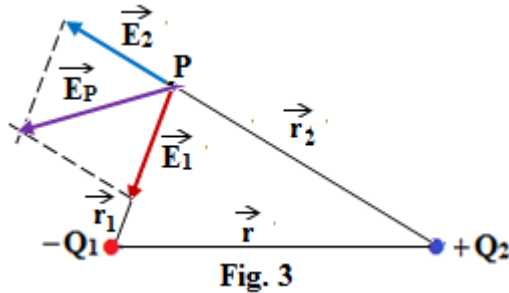


Fig. 3

pentru cazul a două sarcini punctiforme, în rel. (12)  $i=2$ .

### Câmpul electric al unor sarcini electrice punctiforme izolate. Linii și spectre de câmp electrostatic.

Câmpul electrostatic este reprezentat grafic cu ajutorul unor linii imaginare, tangente în fiecare punct al spațiului la direcția locală a vectorului intensitatea câmpului electrostatic,  $\vec{E}$ , numite linii de câmp electrostatic, Fig. 4 și 5.

Ansamblul liniilor de câmp, din reprezentarea grafică, se numește spectrul liniilor de câmp.

Noțiunea de linie de câmp a fost introdusă de fizicianul englez Michael Faraday.

### Câmpul electrostatic radial

În Fig. 4 am reprezentat distribuția liniilor de câmp electric în cazul unor sarcini electrice, punctiforme, izolate, aflate la distanță mare de alte sarcini electrice. Observați că sensul liniilor de câmp este dinspre sarcina pozitivă, „iese” din sarcina pozitivă, Fig. 4 a) și spre sarcina negativă, „intră” în sarcina negativă, Fig. 4 b).

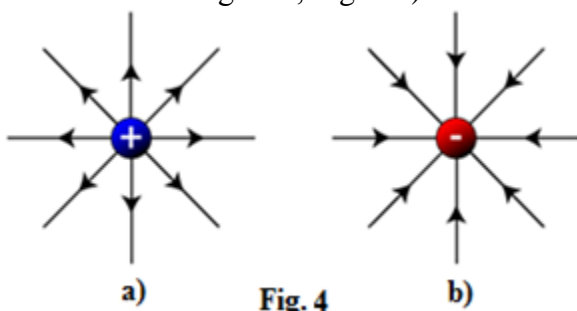


Fig. 4

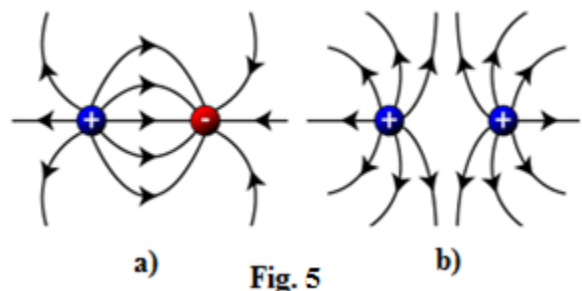


Fig. 5

Se observă că distribuția liniilor de câmp sunt pe direcția unor raze. Din acest caz, câmpul electrostatic generat de o sarcină electrică punctiformă izolată, aflată la distanță mare de alte sarcini electrice se numește **câmp radial**.

În Fig. 5 am reprezentat distribuția liniilor de câmp electric a două sarcini electrice punctiforme izolate aflate în imediata apropiere. Observați spectrul liniilor de câmp în cazul în care sarcinile sunt de semn contrar, este un spectru de linii închise, Fig. 5 a) și în cazul în care sarcinile au același semn, este un spectru de linii deschise, Fig. 5 b).

**OBSERVAȚIE:** În Fig. 4 și 5 spectrele liniilor de câmp sunt desenate în plan. În realitatea aceste spectre au o distribuție spațială, ca un [arici ghemuit](#)!

### Câmpul electrostatic uniform.

Un câmp electrostatic în care intensitatea câmpului este aceeași în toate punctele sale se numește **câmp electric uniform**, Fig. 6.

Câmpul electric uniform are următoarele caracteristici:

1. intensitatea câmpului electrostatic are aceeași valoare în fiecare punct al câmpului;
2. liniile de câmp sunt paralele și echidistante;

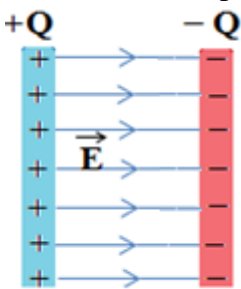


Fig. 6

3. vectorul intensitatea câmpului electrostatic este orientat dinspre distribuția de sarcină pozitivă spre cea negativă.

Câmp uniform poate fi obținut și în spațiul delimitat de două conductoare plane, de dimensiune mare, încărcate cu sarcini egale ca valoare și de semn opus, sarcina fiind distribuită uniform pe fiecare dintre conductori (fiecărui element de arie îi revine aceeași sarcină electrică).

**Observație** : pentru planele de dimensiune mică, numai în regiunile depărtate de marginile acestora se manifestă câmp uniform. La capete apar distorsiuni ale câmpului ca în Fig. 5 a) sau b)

### 5. Fluxul câmpului electric.

Pentru a descrie proprietățile câmpului electric referitor la un ansamblu de puncte ale mediului, aflate pe o suprafață, este utilizată mărimea fizică scalară numită **fluxul câmpului electric**, sau **fluxul electric**:

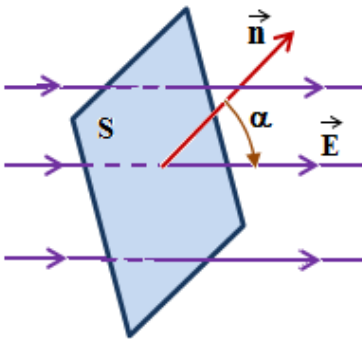


Fig. 7

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = E \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (13)$$

unde cu  $\Phi$  am notat mărimea fizică scalară fluxul electric, cu  $S$  aria suprafeței considerate, cu  $\vec{E}$  vectorul intensitatea câmpului electric, cu  $\vec{n}$  normala la suprafața considerată. Referitor la vectorul  $\vec{n}$  considerăm relația:  $\vec{S} = \vec{n} \cdot S$

Termenul de flux provine din limba latină: **fluxus = curgător** și își are originea în teoria fluidelor, unde fluxul reprezintă debitul de fluid care străbate o suprafață oarecare.

Altfel spus: **fluxul electric reprezintă totalitatea liniilor de câmp electric care străbate o suprafață oarecare.**

Fluxul câmpului electric prin suprafața considerată depinde de orientarea acesteia în raport cu direcția liniilor de câmp, Fig. 7.

- Fluxul câmpului electric este maxim atunci când suprafața  $S$  este așezată normal (perpendicular) pe direcția liniilor de câmp,  $\alpha = 0^\circ$ .
- Fluxul câmpului electric este minim atunci când suprafața  $S$  este paralelă cu direcția liniilor de câmp,  $\alpha = 90^\circ$ .

Unitatea de măsură pentru fluxul electric este:

$$[\Phi]_{S.I.} = \frac{1N \cdot m^2}{C} = 1V \cdot m \quad (14)$$

### 6. Teorema lui Gauss

Să considerăm o sferă de rază  $r$ , în centrul căreia este în repaus un corp punctiform de sarcină  $q$ ,

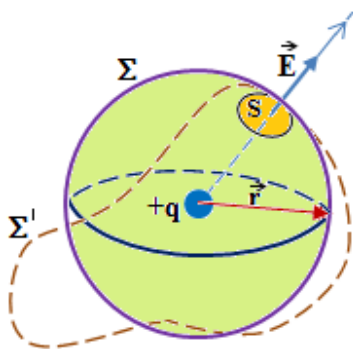


Fig. 8

Fig. 8. Ținând cont de rel. (11), și de faptul că distribuția liniilor de câmp pentru o sarcină electrică punctiformă izolată este radială, suprafața  $\Sigma$  sferei reprezintă locul geometric al punctelor din spațiu pentru care modulul vectorului intensitatea câmpului electrostatic are aceeași

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i \cdot \vec{S}_i = \sum_{i=1}^n E_i \cdot S_i \cdot \cos 0 = E \sum_{i=1}^n S_i = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2} 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon} \quad (15)$$

Acest rezultat obținut în baza legii lui Coulomb a fost generalizat pentru orice suprafață  $\Sigma'$  închisă și pentru orice distribuție spațială de sarcină electrică de către [Karl Friederich Gauss](#):

**Fluxul câmpului electric printr-o suprafață închisă este egal cu**

raportul dintre sarcina totală aflată în interiorul suprafeței și permitivitatea electrică a mediului în care se află suprafața considerată.

$$\Phi = \frac{q_{int.}}{\epsilon} \quad (15')$$

**OBSERVAȚIE:** 1. Dacă în interiorul unei suprafețe închise, aflată într-un câmp electric, nu există sarcini, sau sarcina totală este nulă, fluxul prin suprafața totală este zero.

2. Dacă sarcina electrică se află în afara suprafeței, fluxul electric prin suprafața totală este zero: numărul liniilor de câmp care intră în suprafața este egal cu numărul liniilor de câmp care ies din suprafața.

3. Liniile de câmp au, în mod obligatoriu, „capetele” pe sarcini.

## 7. Potențialul electric.

### Lucrul mecanic în câmp electrostatic.

Considerăm că sarcina  $+q$  se deplasează, de-a lungul unei linii de câmp, din punctul A în punctul B, în câmpul creat de sarcina  $+Q$ , Fig. 9.

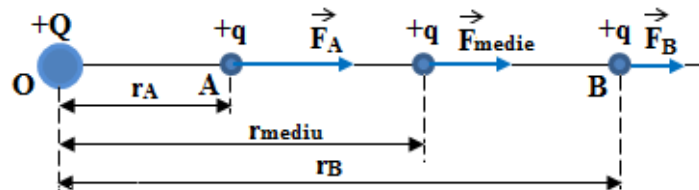


Fig. 9

Conform definiției  $L = F \cdot d$ , relație valabilă pentru cazul în care  $F = \text{const.}$  și paralelă cu deplasarea. În cazul nostru forța este paralelă cu deplasarea, dar nu este constantă. Forța electrică depinde de distanță, rel. 7.

Pentru a calcula lucrul mecanic, vom apela la un artificiu matematic. Vom calcula forța medie pe distanța  $AB = d = r_B - r_A$ . Având în vedere expresia forței, rel. 7, cel mai bine ne-ar avantaja o medie geometrică:

$$F_{medie} = \sqrt{F_A \cdot F_B} = \sqrt{\frac{Qq}{4\pi\epsilon r_A^2} \cdot \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_B^2}} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_A r_B} \quad (16)$$

Cu aceste precizări:

$$L = F_{medie} \cdot (r_B - r_A) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_A r_B} \cdot (r_B - r_A) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \cdot \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad (17)$$

**OBSERVAȚIE:** 1. Lucrul mecanic în câmp electric depinde de sarcina generatoare de câmp,  $Q$ , sarcina de probă,  $q$  și de punctele inițial și final între care se deplasează sarcina de probă.

2. Deoarece lucrul mecanic în câmp electrostatic nu depinde de drum, **câmpul electric generat de două sarcini electrice punctiforme, aflate în repaus este un câmp conservativ.**

În consecință, forța electrică este o forță conservativă. Deși este o mărime de proces, lucrul mecanic al unei forțe conservative depinde doar de stare inițială și finală a sistemului.

## 7. Energia potențială electrică.

În cazul sistemelor conservative de forțe se poate defini energia potențială.

Variația energiei potențiale a unui sistem în care acționează forțe conservative este dată de relația:

adică: 
$$\Delta W_p = -L_{forțe\ conservative} \quad (18)$$

$$W_{pB} - W_{pA} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_B} - \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_A} \quad (19)$$

Dacă considerăm că deplasarea sarcinii  $q$  s-a făcut între punctele  $r_A = r$  și  $r_B \rightarrow \infty$ , energia potențială electrică este dată de relația:

$$W_p = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r} + C \quad (20)$$

Unde  $C$  este o constantă arbitrară pe care o vom considera egală cu zero:  $C=0$ .

În consecință, energia potențială electrică a unui sistem format din două corpuri punctiforme, încărcate cu sarcină electrică  $Q$  și  $q$ , aflate la distanța  $r$  una de cealaltă, este dată de relația:

$$W_p = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r} \quad (20')$$

## 8. Tensiunea electrică. Diferența de potențial.

Definim tensiunea electrică, sau diferența de potențial raportul:

$$U = V_A - V_B = \frac{L}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \cdot \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad (21)$$

De aici rezultă că potențialul unui punct este dat de relația:

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon r} \quad (22)$$

Unitatea de măsură pentru tensiunea electrică este aceeași ca și pentru potențialul electric, voltul, simbol V:

$$[U]_{S.I.} = [V]_{S.I.} = \frac{1J}{1C} = 1V \quad (23)$$

**OBSERVAȚIE:** *Potențial unui câmp generat de o sarcină  $Q$  are semnul sarcinii  $Q$ .*

În cazul unui câmp electric uniform, Fig. 6, diferența de potențial este dată de relația:

$$U = \mathbf{E} \cdot \mathbf{d} \quad (24)$$

De unde rezultă și **unitatea de măsură preferată pentru intensitatea câmpului electric:**

$$[E]_{S.I.} = \frac{1V}{m}$$

Datorită caracterului aditiv al energiei, într-un punct oarecare al câmpului electric, rezultat prin suprapunerea câmpurilor generate de mai multe sarcini electrice punctiforme, potențialul electric are și el caracter aditiv și este egal cu suma algebrică a potențialelor câmpurilor generate independent de fiecare sarcină electrică:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (25)$$

### Suprafețe echipotențiale.

Suprafața echipotențială este locul geometric al punctelor dintr-un câmp electric în care potențial electric are aceeași valoare.

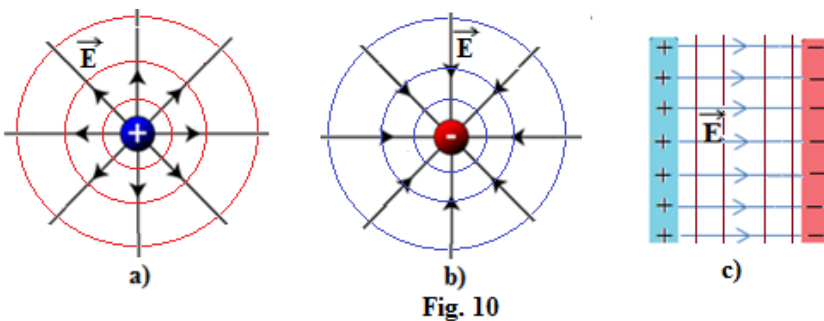


Fig. 10

Forma unei suprafețe echipotențiale depinde de distribuția sarcinilor care generează câmpul respectiv.

Există însă o proprietate generală a suprafețelor echipotențiale:

Liniile de câmp, în punctele de intersecție cu suprafețele echipotențiale, sunt perpendiculare pe aceste suprafețe.

În cazul unor sarcini electrice

punctiforme suprafețele sunt suprafețe sferice, Fig. a) și b), iar în cazul unui câmp electric uniform suprafețele echipotențiale sunt suprafețe plane, Fig. 10 c)

Remarcăm faptul că sensul vectorului  $\vec{E}$ , deci și al liniilor de câmp, este de la punctele cu potențial mai mare, spre punctele cu potențial mai mic. Semnul sarcinii negative schimbă sensul lui  $\vec{E}$ !

### Conductor izolat în câmp electrostatic.

**Un conductor electrizat este în echilibru electrostatic dacă sarcina sa liberă este în repaus.**

O astfel de stare pentru un sistem fizic se numește **regim electrostatic**.

În cazul unui conductor izolat, aflat în câmp electrostatic, echilibrul electrostatic este posibil doar dacă sarcina lui liberă, în cazul nostru electronii, nu se deplasează în interiorul conductorului.

Dacă sarcina liberă nu se deplasează înseamnă că, în interiorul conductorului, nu există curent electric. Curentul electric este un ansamblu de sarcini electrice în mișcare, iar mișcarea sarcinilor electrice se face sub influența câmpului electric.

Concluzie: **În interiorul unui conductor aflat în echilibru electrostatic, inclusiv în eventualele**

**cavități, intensitatea câmpului electric este nulă,  $\vec{E} = 0$ .**

Dacă  $\vec{E} = 0$ , din definiția fluxului electric și ținând cont de teorema lui Gauss rezultă că **în interiorul conductorului și sarcina electrică este nulă,  $q = 0$ .**

Deoarece am stabilit că în conductor există totuși sarcină electrică liberă, rezultă că **sarcină electrică liberă se distribuie numai la suprafața conductorului.**

Dacă sarcina electrică liberă este în repaus, înseamnă că și lucrul mecanic efectuat este nul,  $L = 0$ .

Din rel. (21), relația de definiție a tensiunii electrice, diferența de potențial:  $L = e \cdot (V_A - V_B) = 0$ , rezultă că în interiorul conductorului electrizat, aflat în echilibru în câmp electrostatic potențialul este constant, inclusiv pe suprafața sa,  $V_A = V_B = V$ . De aici putem deduce că suprafața unui conductor izolat este o suprafață echipotențială.

**Proprietatea conductorilor în electrizați, în echilibru electrostatic, de a nu avea în interior nici sarcină electrică, nici câmp electric se numește ecranare.**

## 9. Capacitatea electrică a unui conductor izolat.

Capacitatea electrică a unui conductor izolat și departe de alte corpuri este o mărime fizică scalară și pozitivă, definită prin relația:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (26)$$

unde Q este sarcina pe conductor, iar V este potențialul său.

Unitatea de măsură pentru capacitatea electrică este:

$$[C]_{S.I} = \frac{[Q]_{S.I}}{[V]_{S.I}} = \frac{1C}{1V} = 1F(\text{farad}) \quad (27)$$

1F este capacitatea unui conductor izolat, departe de alte corpuri, care se încarcă cu sarcina de 1C iar potențialul său este de 1V.

### Condensatorul electric.

**Condensatorul electric** este un dispozitiv electric proiectat și construit pentru a înmagazina sarcină electrică. Capacitatea condensatorului electric se definește prin relația:

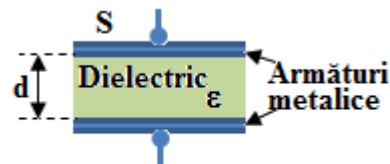


Fig. 11

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{Q}{U} \quad (28)$$

unde am notat cu  $V_1$  și  $V_2$  potențialele celor două armături.

Cel mai simplu condensator electric este condensatorul plan, Fig. 11.

**Condensatorul plan** este un ansamblu format din două suprafețe metalice, plane, numite armături, separate printr-un mediu dielectric.

**Mediile dielectrice** sunt materiale izolatoare în care poate apărea un câmp electric, numit câmp electric de polarizare, atunci când sunt plasați într-un câmp electric exterior.

Capacitatea condensatorului plan este dată de relația:

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{d} \quad (29)$$

Unde cu  $\epsilon$  am notat permitivitatea electrică absolută a mediului dielectric, cu  $S$  suprafața unei armături, iar cu  $d$  distanța dintre armături. Rel. (29) a fost determinată experimental.

### Gruparea condensatorilor. a) Gruparea serie.

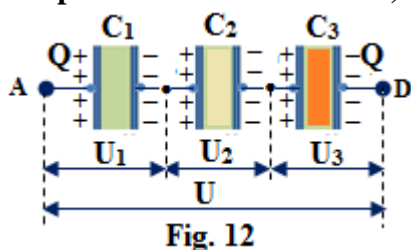


Fig. 12

Sarcina Q este distribuită în mod identic pe fiecare condensator. Cele două armături, ale fiecărui condensator, se vor polariza alternativ, + Q și - Q, Fig. 12.

Capacitatea echivalentă a grupării serie este capacitatea unui condensator  $C_S$  care preia sarcina Q, a grupării, la diferența totală de potențial U. Observați că diferența de potențial U se distribuie pe cei trei condensatori, corespunzător capacității fiecăruia:  $U_1, U_2, U_3$ , cu

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (30)$$

condiția:

**Relație care exprimă legea conservării energiei!**



Din rel. (28), scrisă pentru fiecare condensator, avem:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}, \quad \text{respectiv} \quad U = \frac{Q}{C_S} \quad (31)$$

Dacă înlocuim rel. (31) în rel. (30) și simplificăm Q obținem formula capacității grupării serie,  $C_S$ :

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad \text{sau} \quad \frac{1}{C_S} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (32)$$

unde cu  $i$  am notat numărul de condensatori din grupare. În cazul nostru  $i = 3$ .

### b) Gruparea paralel.

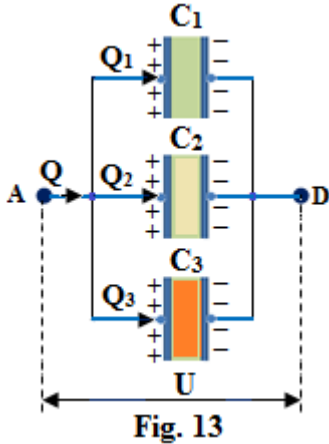


Fig. 13

În acest caz toți condensatorii sunt legați la același potențial U. Sarcina Q se distribuie pe fiecare condensator, în funcție de capacitatea fiecăruia, cu condiția:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (33)$$

#### Relație care exprimă legea conservării sarcinii electrice!

Cele două armături, ale fiecărui condensator, se vor polariza alternativ, + Q și - Q, Fig. 13.

Capacitatea echivalentă a grupării paralel este capacitatea unui condensator  $C_P$  care preia toată sarcină Q, a grupării, la aceeași diferența de potențial U.

Din rel. (28), scrisă pentru fiecare condensator, avem:

$$Q_1 = U \cdot C_1, \quad Q_2 = U \cdot C_2, \quad Q_3 = U \cdot C_3 \quad \text{respectiv} \quad Q = U \cdot C_P \quad (34)$$

Dacă înlocuim rel. (34) în rel. (33) și simplificăm U obținem formula

capacității grupării paralel,  $C_P$ :

$$C_P = C_1 + C_2 + C_3 \quad \text{sau} \quad C_P = \sum_{i=1}^n C_i \quad (35)$$

unde cu  $i$  am notat numărul de condensatori din grupare. În cazul nostru  $i = 3$ .

### Energia câmpului electric între armăturile unui condensator. Densitatea de energie a câmpului electrostatic.

Pentru încărcarea unui condensator se efectuează un lucru mecanic de către o sursă exterioară de energie. Sarcinile, existente pe armătura condensatorului, vor exercita o forță de respingere asupra sarcinilor, de același semn, care sunt aduse pe armătura condensatorului.

Deci, un condensator încărcat este un sistem caracterizat de o energie W. Variația energiei electrice de la zero la valoarea maximă W se măsoară prin lucrul mecanic efectuat pentru încărcarea condensatorului:

$$W = L = Q \cdot U_{\text{mediu}} \quad (36)$$

$U_{\text{mediu}}$  se calculează ca o medie aritmetică între valoarea potențialului în cazul condensatorului descărcat  $U = 0$  și valoarea lui când condensatorul este încărcat maxim cu sarcină  $U = U_{\text{maxim}}$ .

Rezultă imediat că:

$$U_{\text{mediu}} = \frac{U}{2}$$

Ținând cont de definiția capacității electrice, rel. (28):

$$W = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad (37)$$

Pentru un condensator plan, Fig. 11,  $C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$  iar  $U = E \cdot d$ , rel. (24) și (29) și W devine:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon \cdot S}{d} \cdot E^2 \cdot d^2 = \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot S \cdot d \cdot E^2 \quad (38)$$

Observați că  $V = S \cdot d$ , este volumul dielectricului. Definim, în acest caz mărimea fizică densitatea volumică de energie:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \cdot \epsilon \cdot E^2 \quad (39)$$

Această relație, deși a fost dedusă în cazul condensatorului plan, pentru un câmp electric uniform, ea este valabilă pentru orice câmp electrostatic.

**BIBLIOGRAFIE:**

- D. Borșan, A. Costescu, M. Petrescu-Prahova, M. Sandu – Fizică, manual pentru clasa a X-a,  
EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, R.A. BUCUREȘTI, 1966.
- N. Gherbanovschi – FIZICĂ, manual pentru clasa a X-a, F<sub>1</sub>, editura NICULESCU, 2004
- M. von Laue – Istoria fizicii, Editura științifică, București, 1965
- <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/140084/Coulomb-force>
- <http://www.aplusphysics.com/courses/honors/estat/fields.html>