

# CURSUL 1

## Obiectul cursului

Electrotehnica studiază fenomenele electrice și magnetice cu scopul utilizării lor în tehnică. Problemele studiate se împart în două categorii: probleme de electroenergetică și probleme de electrocomunicații. **Electroenergetica** studiază tehnica producerii, transportului și utilizării energiei electromagnetice (tehnica curenților tari). **Electrocomunicațiile** studiază producerea, transmisia, reproducerea și înregistrarea semnalelor electromagnetice purtătoare de informații. Cele două categorii de probleme intervin împreună în aplicațiile tehnice. O linie modernă de montaj este compusă din instalații electroenergetice (transformatoare electrice, motoare electrice, aparataj electric, linii electrice de alimentare etc.) și instalații de protecție, măsură, comandă, control, semnalizări etc., care primesc, prelucrează și transmit informații privitoare la modul în care se fac acționarea, reglajul și comanda procesului tehnologic.

Câmpul electromagnetic are energie cu proprietăți remarcabile cum ar fi:

- se obține ușor din alte forme de energie;
- se transformă ușor și cu randamente ridicate în alte forme de energie;
- se transmite ușor, economic și practic instantaneu la mari distanțe;
- se distribuie foarte ușor și cu randamente ridicate la un număr mare de consumatori de puteri diferite cu ajutorul rețelelor electrice.

Datorită acestor proprietăți energia electromagnetică este utilizată pe scară largă în majoritatea aplicațiilor tehnice.

Studiul câmpului electromagnetic se poate face în două feluri după modul în care se ia în considerare structura corpurilor:

- **teoria microscopică clasică** care ține seama de structura atomică discontinuă a corpurilor;
- **teoria macroscopică** care admite că substanța corpurilor este răspândită continuu în întreg spațiul.

Deoarece, în general, în aplicațiile tehnice, fenomenele se studiază și se utilizează la scară macroscopică, cursul de față se axează în general pe teoria macroscopică a câmpului electromagnetic. Ea utilizează șase mărimi primitive specific dintre care două sunt scalare și trei sunt vectoriale (sarcina electrică  $q$ , intensitatea curentului electric de conducție  $i$ , vectorul intensitate a câmpului

electric în vid  $\overline{E}_v$ , momentul electric  $\overline{p}$ , , momentul magnetic  $\overline{m}$  și vectorul inducție magnetică în vid  $\overline{B}_v$ ) și douăsprezece legi. Legile teoriei macroscopice se împart în **legi generale** și **legi de material**. Legile de material au în expresia lor anumiți factori specifici diverselor materiale, factori numiți mărimi **de material**.

**Câmpul electromagnetic este o formă de existență a materiei, deosebită de substanța corpurilor, care poate exista atât în interiorul corpurilor, cât și în afara lor.** Deoarece câmpul electromagnetic exercită acțiuni ponderomotoare (forțe și cupluri) asupra corpurilor, acțiuni care nu sunt de natură mecanică sau termică, în urma cărora energia și impulsul corpurilor variază, se admite că și câmpul electromagnetic posedă energie și impuls. Cele mai multe moduri de manifestare ale câmpului electromagnetic se studiază indirect, prin efectele pe care le produc (efecte mecanice, termice, calorice etc.) care sunt direct accesibile omului.

Câmpul electromagnetic are două aspecte particulare: **câmpul electric** și **câmpul magnetic**. Deosebiriile dintre aceste două aspecte au un caracter relativ și nu permit considerarea lor distinctă decât precizând sistemul de referință la care se raportează fenomenele și față de care se definesc mărimile electrice și cele magnetice.

Sistemul de unități de măsură folosit în prezentul curs este **Sistemul internațional de unități (SI)**.

## 1. ELECTROSTATICA (1)

**Electrostatica este capitolul care studiază stările electrice invariabile în timp și neînsoțite de curenți electrice de conducție, respectiv de dezvoltare de căldură, căldură care caracterizează acești curenți.**

În regimul electrostatic, mărimile de stare ale câmpului electric sunt invariabile în timp, deci derivatele lor parțiale în raport cu timpul sunt nule, iar curentul electric de conducție este nul. Regimul electrostatic este regimul în care fenomenele electrice se pot studia independent de fenomenele magnetice.

## 1.1. FENOMENE DE ELECTRIZARE

Dacă se freacă un baston de sticlă cu o bucată de mătase și apoi se separă cele două corpuri, se constată că atât între ele cât și asupra corpurilor ușoare din apropiere, se exercită acțiuni ponderomotoare (forțe și cupluri) care nu existau înainte. Se spune că sistemul format din cele două corpuri s-a electrizat, iar acestea se află într-o nouă stare numită **stare de electrizare**.

Se numește **starea de electrizare a corpurilor, acea stare a lor în care ele sunt capabile să exercite acțiuni ponderomotoare de natură electrică asupra altor corpuri**. Ea se explică microscopic printr-un surplus sau un minus de electroni.

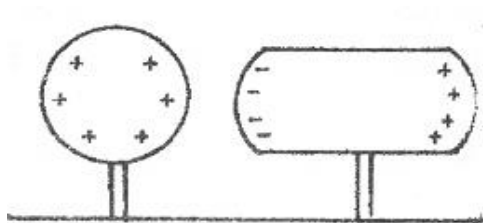


Fig.1.1. Electrizarea corpurilor prin influență electrostatică.

Electrizarea corpurilor prin frecare, de exemplu a bastonului de sticlă, se obține prin trecerea unui număr de electroni periferici de pe bastonul de sticlă pe bucata de mătase. Sarcina electrică a electronului fiind  $q_e = -1,602 \cdot 10^{-19}$  C, bastonul de sticlă rămâne încărcat cu sarcină pozitivă ca urmare a plecării electronilor, iar mătasea se va încărca cu sarcină electrică negativă, ca urmare a trecerii electronilor de pe baston pe ea.

Corpurile se mai pot electriza prin contact cu corpurile electrizate, prin influență electrostatică (fig.1.1), prin iradiere cu radiații Roentgen sau radiații ultraviolete, prin deformare (efect piezoelectric), prin încălzire (efect piroelectric), prin efecte chimice, prin efecte fotoelectrice etc.

## 1.2. SARCINA ELECTRICĂ. DENSITĂȚI DE SARCINĂ ELECTRICĂ

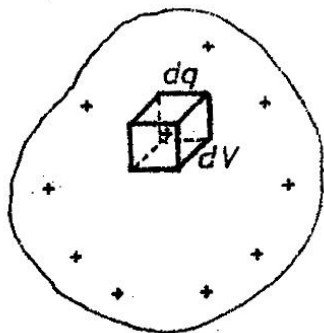


Fig.1.2. Explicativă la calculul densității de volum a sarcinii electrice.

Sarcina electrică  $q$  este mărimea primitivă scalară de stare a corpurilor, care caracterizează la scară macroscopică starea de electrizare a acestora, fiind independentă de poziția și orientarea lor.

Prin convenția stabilită de fizicianul american **B.Franklin** (1706-1790) ca sarcina electronului să fie negativă, se numește sarcină electrică pozitivă cea obținută prin lipsă de electroni și sarcină electrică negativă cea obținută printr-un surplus de electroni. Unitatea de măsură a sarcinii electrice este **Coulombul (C)**.

Pentru caracterizarea locală a stării de electrizare a corpurilor s-au definit densitățile de sarcină electrică.

Dacă sarcina unui corp este repartizată în volumul lui (corp izolant sau semiconductor), **densitatea de volum  $\rho_v$  a sarcinii electrice** se definește prin **limita raportului dintre sarcina  $\Delta q$  și volumul elementar  $\Delta V$  în care se găsește** (fig.1.2), **când acest volum tinde către zero și când limita există:**

$$\rho_v = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV} \left[ \frac{C}{m^3} \right]. \quad (1.1)$$

În cazul unei repartiții a sarcinii electrice pe suprafețe subțiri sau pe corpurile electroconductoare, se definește **densitatea de suprafață  $\rho_s$  a sarcinii electrice prin limita raportului dintre sarcina  $\Delta q$  și suprafața elementară  $\Delta S$  pe care se găsește, când această suprafață tinde către zero și când limita există:**

$$\rho_s = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS} \left[ \frac{C}{m^2} \right]. \quad (1.2)$$

Dacă sarcina electrică este repartizată pe fire electroconductoare subțiri, se definește **densitatea de linie  $\rho_l$  a sarcinii electrice prin limita raportului dintre sarcina  $\Delta q$  și lungimea elementară  $\Delta l$  pe care se găsește, când această lungime tinde către zero și când limita există:**

$$\rho_l = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl} \left[ \frac{C}{m} \right]. \quad (1.3)$$

În relațiile de mai sus, s-au considerat domeniile  $\Delta V$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta l$  suficient de mici pentru ca mărimile macroscopice să aibă o variație neglijabilă în cuprinsul lor.

Cunoscând dependența în spațiu a densităților de sarcină,  $\rho(x,y,z)$ , se poate calcula sarcina totală a corpului, cu relațiile:

$$q = \int_V \rho_v dV ; \quad q = \int_S \rho_s dS ; \quad q = \int_C \rho_l dl . \quad (1.4 \text{ a,b,c})$$

### 1.3. CÂMPUL ELECTRIC ÎN VID

După cum s-a constatat experimental, între corpurile electrizate sau între un corp electrizat și corpurile ușoare, apar acțiuni ponderomotoare de natură electrică. Exercițarea unor astfel de acțiuni, pune în evidență existența unui nou sistem fizic în spațiul din jurul corpurilor încărcate electric, numit **câmp electric**. Deoarece se consideră că acțiunea dintre corpuri nu se poate realiza de la distanță (concepția acțiunii prin continuitate), i se atribuie câmpului electric proprietatea de a transmite la distanță acțiunile ponderomotoare. Sub aspect energetic, câmpul electrostatic este produs prin consum de energie. O parte din energia consumată pentru producerea lui, se regăsește ca energie a câmpului electric, energie pusă în evidență de lucrul mecanic pe care îl pot efectua forțele de natură electrică.

**Câmpul electric este un sistem fizic diferit de substanță, care există în jurul corpurilor electrizate și în regiunile din spațiu în care se exercită acțiuni ponderomotoare de natură electrică și care permite transmiterea acestor acțiuni.**

### 1.3.1. Intensitatea câmpului electric în vid.

Pentru caracterizarea câmpului electrostatic în vid, se introduce o mărime vectorială primitivă de stare numită **intensitate a câmpului electric în vid în regim electrostatic**  $\vec{E}_v$ .

Experimental s-a constatat că forța ce se exercită asupra unui corp punctiform încărcat cu o sarcină electrică  $q$ , aflat într-un câmp electric, este egală cu produsul dintre sarcina electrică și o mărime vectorială caracteristică în acel punct numită intensitatea câmpului electric din acel punct  $\vec{E}_v$ :

$$\vec{F} = q \vec{E}_v . \quad (1.5)$$

Relația (1.5) fiind obținută prin generalizarea unor date experimentale, este o lege generală a naturii numită **legea acțiunii ponderomotoare în câmpul electrostatic** asupra corpurilor punctiforme, încărcate cu sarcină electrică și exprimă matematic procesul de interacțiune dintre câmpul electric și corpurile punctiforme electrizate.

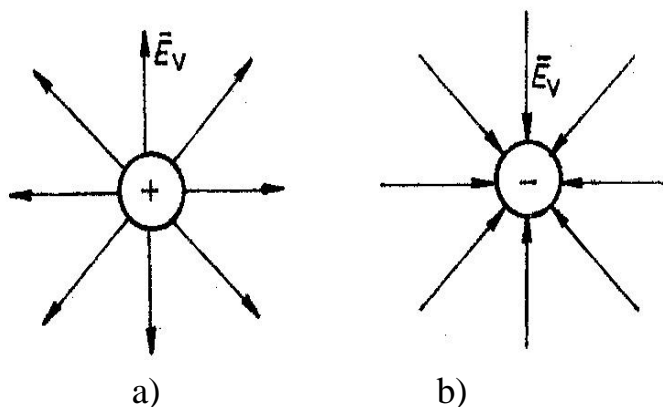


Fig.1.3. Spectrele liniilor de câmp electric produs de o singură sarcină electrică punctiformă :

a) pozitivă; b) negativă.

Vectorul intensitate a câmpului electric în vid  $\vec{E}_v$  se poate calcula în orice punct al câmpului electrostatic cu relația:

$$\vec{E}_v = \frac{\vec{F}}{q} . \quad (1.6)$$

Unitatea de măsură pentru intensitatea câmpului electric este **Voltul pe metru (V/m)**.

Pentru explorarea câmpului electrostatic se folosește un corp de probă realizat dintr-o sferă metalică mică sau metalizată de dimensiuni mici, practic

punctiformă, încărcată cu o sarcină electrică  $q$  invariabilă în timp și de valoare foarte mică, pentru a nu modifica câmpul electric studiat.

**Liniile de câmp electric** sunt curbe care au proprietatea că sunt tangente în fiecare punct al lor la direcția locală a vectorului intensitate a câmpului electric. Liniilor de câmp li se atribuie un sens identic cu sensul vectorului intensității câmpului electric. Numărul de linii de câmp pe unitatea de suprafață transversală este proporțional cu mărimea vectorului  $\vec{E}_v$ ; unde  $\vec{E}_v$  este mai mare, liniile de câmp sunt mai dese, iar unde  $\vec{E}_v$  este mai mic, liniile sunt mai distanțate.

Liniile de câmp electric sunt **linii deschise** pornind de la corpurile încărcate pozitiv și venind la corpurile încărcate negativ.

În figura 1.3. s-au reprezentat spectrele liniilor câmpului electric produs de un corp punctiform încărcat cu sarcină electrică pozitivă (fig.1.3a), respectiv negativă (fig.1.3b). Liniile de câmp sunt orientate radial plecând de la sarcina pozitivă și venind spre sarcina negativă (s-a considerat că nu există decât un singur corp electrizat în întreg spațiul).

În figura 1.4 s-au reprezentat spectrele liniilor câmpului electric produs de două corpuri punctiforme vecine încărcate cu sarcini electrice de același semn (fig.1.4a) și de semne contrare (fig.1.4b).

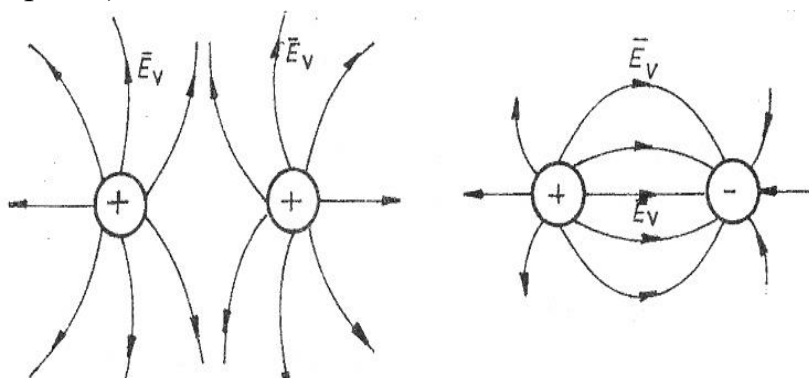


Fig.1.4. Spectrul liniilor câmpului electric produs de două sarcini electrice punctiforme vecine.

### 1.3.2. Formula lui Coulomb.

Fizicianul francez **Ch.Coulomb** (1736-1806) a măsurat în anul 1785 cu ajutorul unei balanțe electrice de torsiune, forțele de interacțiune dintre două corpuri punctiforme, situate în vid și încărcate cu sarcină electrică. El a stabilit formula:

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12} . \quad (1.7)$$

Forța  $\vec{F}_{21}$  exercitată în vid de un corp punctiform încărcat cu sarcina electrică  $q_1$  asupra altui corp punctiform încărcat cu sarcina electrică  $q_2$ , este proporțională cu produsul sarcinilor electrice și invers proporțională cu pătratul distanței  $r_{12}$  dintre ele, fiind dirijată după dreapta care le unește (fig.1.5).

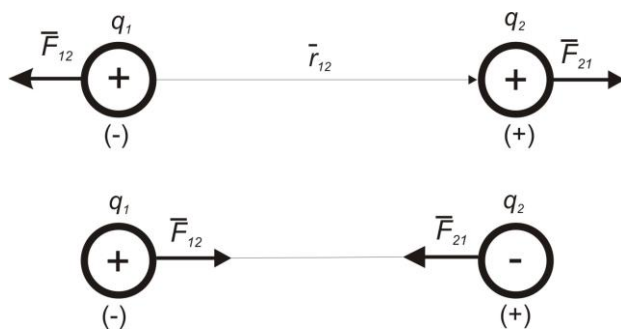


Fig.1.5. Explicativă la forța lui Coulomb.

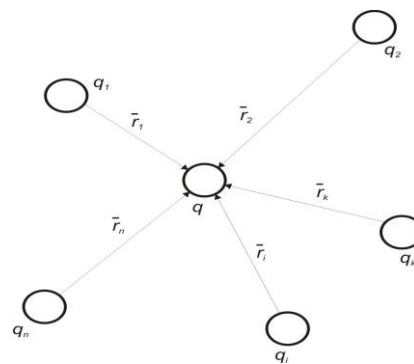


Fig.1.6. Explicativă la calculul forței rezultante produse de n corpuri.

Sensurile forțelor sunt astfel încât, corpurile încărcate cu sarcini de același semn se resping, iar cele încărcate cu sarcini de semne contrare se atrag.

În relația (1.7),  $\epsilon_0$  este o constantă universală referitoare la vid, numită **permitivitatea vidului**, având valoarea:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{F}{m} . \quad (1.8)$$

Dacă asupra unui corp punctiform încărcat cu sarcina  $q$  se exercită forțe produse de  $n$  corpuri punctiforme situate în vid și încărcate cu sarcinile  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , forța rezultantă rezultă din aplicarea suprapunerii efectelor (forța rezultantă este egală, cu suma vectorială a forțelor ce acționează asupra corpului încărcat cu sarcina  $q$ , datorate sarcinilor  $q_k$ , (fig.1.6):

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \frac{q}{4 \pi \epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{r_k^3} \vec{r}_k . \quad (1.9)$$



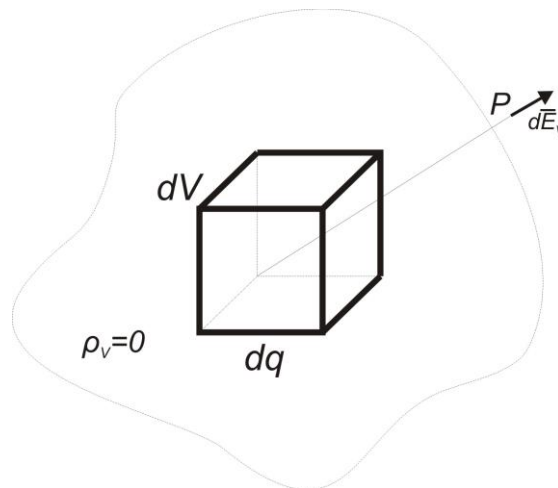


Fig.1.8. Explicativă la calculul intensității câmpului electric produs de corpuri masive.

**1.3.3.**  
**Relații de calcul pentru intensitatea câmpului electric în vid.**

**a) Câmpul electric produs de un corp punctiform încărcat cu**

**sarcina  $q$ .**

Se consideră un corp punctiform încărcat cu sarcina  $q$  situat în vid (fig.1.7). Intensitatea câmpului electric în vid într-un punct  $P$  situat la distanța  $r$  de sarcină,

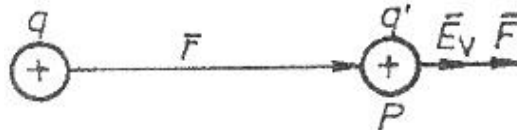


Fig.1.7. Explicativă la calculul intensității câmpului electric produs de o sarcină punctiformă.

va fi raportul dintre forța care acționează asupra unui mic corp de probă electrizat, plasat în acest punct, și sarcina  $q'$  a acestuia:

$$\overline{E}_v = \frac{\overline{F}}{q'} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \overline{r}. \quad (1.10)$$

**b) Câmpul electric produs în vid de către un corp de formă oarecare având sarcina repartizată în volum, pe suprafață sau liniar.**

Fie un corp masiv, de o formă oarecare, cu sarcina  $q$  repartizată continuu și uniform în volum și având densitatea de volum a sarcinii electrice  $\rho_v$  cunoscută (fig.1.8).

Un element de volum  $dV$  având sarcina  $dq = \rho_v dV$  poate fi considerat ca un corp punctiform și conform relației (1.10) câmpul electric elementar creat de sarcina  $dq$  în punctul  $P$  este:

$$d\bar{E}_v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho_v dV}{r^3} \bar{r}. \quad (1.11)$$

Intensitatea câmpului electric  $\bar{E}_v$  rezultă prin integrarea pe întregul volum al corpului a relației 1.11:

$$\bar{E}_v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho_v \bar{r}}{r^3} dV. \quad (1.12)$$

Dacă corpul este încărcat cu sarcină electrică numai la suprafață, având densitatea de suprafață a sarcinii electrice  $\rho_s$ , câmpul electric  $\bar{E}_v$  se obține în mod analog:

$$\bar{E}_v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_S \frac{\rho_s \bar{r}}{r^3} dS, \quad (1.13)$$

iar pentru corpuri filiforme, având densitatea de sarcină electrică liniară  $\rho_l$ , intensitatea câmpului electric va fi:

$$\bar{E}_v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_C \frac{\rho_l \bar{r}}{r^3} dl. \quad (1.14)$$

Dacă într-o regiune a spațiului există corpuri încărcate cu sarcini electrice având densitățile de volum  $\rho_v$ , superficiale  $\rho_s$  și liniare  $\rho_l$ , precum și corpuri punctiforme încărcate cu sarcinile  $q_k$ , intensitatea câmpului electric în vid, într-un punct oarecare, se obține prin superpoziția câmpurilor:

$$\bar{E}_v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \int_V \frac{\rho_v \bar{r}}{r^3} dV + \int_S \frac{\rho_s \bar{r}}{r^3} dS + \int_C \frac{\rho_l \bar{r}}{r^3} dl + \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{r_k^3} \bar{r}_k \right]. \quad (1.15)$$

### 1.3.4. Inducția electrică în vid.

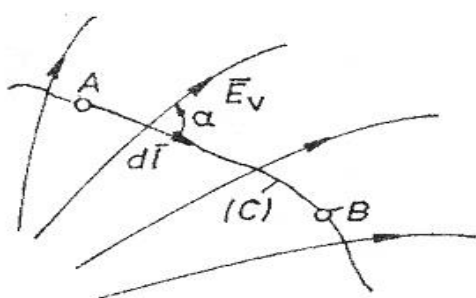
Cu ajutorul permitivității vidului  $\epsilon_0$  și al vectorului intensitate a câmpului electric în vid  $\vec{E}_v$  se definește **inducția electrică în vid**  $\vec{D}_v$  ca fiind:

$$\vec{D}_v = \epsilon_0 \vec{E}_v . \quad (1.16)$$

Unitatea de măsură a inducției electrice este **Coulomb pe metru pătrat** ( $C/m^2$ ).

### 1.3.5. Tensiunea electrică în vid.

Fie un câmp electric în vid, al cărui spectru de linii de câmp este reprezentat în figura 1.9 și o curbă **C** aflată în acest câmp. Se definește tensiunea electrică între două puncte **A** și **B** de-a lungul curbei **C**, mărimea fizică derivată definită prin



integrala de linie a intensității câmpului electric în vid, între cele două puncte, de-a lungul curbei **C**:

$$U_{AB(C)} = \int_{A(C)}^B \vec{E}_v \cdot d\vec{l} = \int_{A(C)}^B E_v dl \cos \alpha . \quad (1.17)$$

Fig.1.9. Explicativă la calculul tensiunii electrice.

Din relația de definiție, se observă că tensiunea electrică depinde de sensul de integrare și ca urmare:

$$U_{AB} = -U_{BA} .$$

Sensul de integrare (sensul lui  $d\vec{l}$ ) se mai numește și sens de referință și se indică printr-o săgeată pe curba **C**.

Tensiunea electrică are o semnificație fizică. Dacă se înlocuiește în relația (1.17) vectorul  $\vec{E}_v$  cu expresia forței electrice dată de relația (1.6), se obține:

$$U_{AB} = \int_{A(C)}^B \overline{E}_v d\vec{l} = \int_{A(C)}^B \frac{\overline{F}}{q} d\vec{l} = \frac{1}{q} \int_{A(C)}^B \overline{F} d\vec{l} = \frac{L_{AB}}{q}, \quad (1.18)$$

relație care arată că tensiunea electrică între punctele **A** și **B** este numeric egală cu raportul dintre lucrul mecanic efectuat de forțele câmpului electric pentru a transporta o sarcină **q** de la **A** la **B** și valoarea acestei sarcini. Unitatea de măsură pentru tensiunea electrică este **Voltul (V)**.

### Aplicație

În vârfurile unui pătrat cu latura de 9 cm, aflat în aer ( $\epsilon_r = 1$ ), se găsesc patru mici corpuri încărcate cu sarcinile electrice:  $q_A = 3 \mu C$ ,  $q_B = -3 \mu C$ ,  $q_C = -6 \mu C$ ,  $q_D = 6 \mu C$ .

Să se determine:

- Forța electrostatică ce se exercită asupra corpului cu sarcina  $q_C$ .
- Intensitatea câmpului electric și inducția electrică în centrul O al pătratului.
- Lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unei sarcini electrice  $q' = 10 \mu C$  din O până în punctul M (mijlocul laturii AD).

Rezolvare

a) Forțele de interacțiune dintre corpurile încărcate cu sarcinile  $q_A$ ,  $q_B$ ,  $q_D$  și corpul cu sarcină  $q_C$ , vor avea modulele:

$$F_{CA} = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_A q_C|}{\epsilon_r AC^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 10^{-4}} = 10 \text{ N};$$

$$F_{CB} = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_b q_C|}{\epsilon_r BC^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 9 \cdot 10^{-4}} = 20 \text{ N};$$

$$F_{CD} = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_D q_C|}{\epsilon_r DC^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 9 \cdot 10^{-4}} = 40 \text{ N}.$$

Forța rezultantă ce acționează asupra corpului C este:

$$\overline{F}_C = \overline{F}_{CA} + \overline{F}_{CB} + \overline{F}_{CD}.$$

Componentele după axele Cx și Cy și modulul forței  $F_C$  vor fi: (fig.1.10):

$$F_{Cx} = -F_{CA} \cos 45^\circ + F_{CD} = 47,05 \text{ N},$$

$$F_{Cy} = -F_{CA} \sin 45^\circ + F_{CB} = 12,95 \text{ N},$$

$$F_C = \sqrt{(F_{Cx})^2 + (F_{Cy})^2} = 48,78 \text{ N}.$$

Unghiul pe care îl face forța  $F_C$  cu axa  $Cx$  este:

$$\alpha = \arctg \frac{F_{Cy}}{F_{Cx}} = 15^\circ 24' 11''.$$

b) Pentru calculul intensității și a inducției electrice a câmpului electrostatic în punctul O, se consideră sistemul de axe de coordonate  $x'Oy'$ . Intensitățile câmpurilor electrice create în punctul O de către sarcinile  $q_A, q_B, q_C, q_D$  sunt:

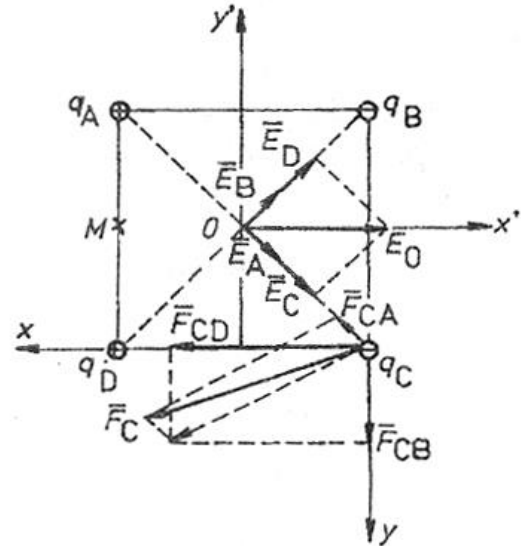


Fig.1.10. Explicativă la aplicație.

$$E_A = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_A|}{\epsilon_r OA^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 9^2 \cdot 10^{-4}} = \frac{2}{3} \cdot 10^7 \frac{V}{m},$$

$$E_B = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_B|}{\epsilon_r OB^2} = \frac{2}{3} \cdot 10^7 \frac{V}{m} \quad E_C = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_C|}{\epsilon_r OC^2} = \frac{4}{3} \cdot 10^7 \frac{V}{m},$$

$$E_D = 9 \cdot 10^9 \frac{|q_D|}{\epsilon_r OD^2} = \frac{4}{3} \cdot 10^7 \frac{V}{m}.$$

Intensitatea rezultantă a câmpului electric în punctul O este:

$$\vec{E}_O = \vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C + \vec{E}_D.$$

Componentele după axele  $Ox'$  și  $Oy'$  și modulul intensității câmpului electric vor fi:

$$E_{Ox'} = E_B \cos 45^\circ + E_D \cos 45^\circ + E_A \cos 45^\circ + E_C \cos 45^\circ = 2\sqrt{2} \cdot 10^7 \frac{V}{m},$$

$$E_{Oy'} = E_B \sin 45^\circ + E_D \sin 45^\circ - E_A \sin 45^\circ - E_C \sin 45^\circ = 0,$$

$$E_O = \sqrt{E_{Ox'}^2 + E_{Oy'}^2} = 2\sqrt{2} \cdot 10^7 \frac{V}{m}.$$

Unghiul pe care îl face intensitatea câmpului electric din punctul O cu axa Ox' este :

$$\alpha_O = \arctg \frac{E_{Oy'}}{E_{Ox'}} = 0.$$

Inducția electrică în punctul O este:

$$\bar{D}_O = \varepsilon \bar{E}_O, \quad D_O = \frac{1}{4 \pi 9 \cdot 10^9} 2 \sqrt{2} = 2 \cdot 10^4 \frac{C}{m^2}.$$

c) Lucrul mecanic efectuat de câmp pentru deplasarea sarcinii  $q'$  din punctul O în punctul M este:

$$L_{OM} = q' (V_O - V_M).$$

Potențialele electrice în punctele O și M , dacă s-a luat punctul de la infinit ca punct de referință și având potențialul zero, sunt:

$$V_O = 9 \cdot 10^9 \sum_1^4 \frac{q_k}{\varepsilon_r r_k} = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \left( \frac{3}{4,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-2}} - \frac{3}{4,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-2}} \right) +$$

$$+ 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \left( -\frac{6}{4,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-2}} + \frac{6}{4,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-2}} \right) = 0,$$

$$V_M = 9 \cdot 10^9 \sum_1^4 \frac{q_k}{\varepsilon_r r_k} = 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \left( \frac{3}{4,5 \cdot 10^{-2}} - \frac{3}{4,5 \cdot \sqrt{5} \cdot 10^{-2}} \right) +$$

$$+ 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \left( -\frac{6}{4,5 \cdot \sqrt{5} \cdot 10^{-2}} + \frac{6}{4,5 \cdot 10^{-2}} \right) = 9,95 \cdot 10^5 V.$$

Lucrul mecanic rezultă:

$$L_{OM} = 10^{-5} (0 - 9,95 \cdot 10^5) = -9,95 J.$$

Lucrul mecanic fiind negativ trebuie să fie făcut din exterior.

## TEME DE STUDIU

Test 1.

Ce este o lege de material ?.

Test 2.

Ce valoare are permitivitatea electrică a vidului ?.

Test 3.

Care sunt mărimile care caracterizează local starea de electrizare ?.

Test 4.

Ce este intensitatea câmpului electric în vid ?.

Test 5.

Ce sunt liniile de câmp electric?.

Test 6.

Care este expresia formulei lui Coulomb ?.

Test 7.

Care este expresia intensității câmpului electric produs de un corp dielectric încărcat cu densitatea de volum  $\rho_v$  într-un punct exterior corpului ?.

Test 8.

Cum se definește inducția electrică în vid ?.

Test 9.

Ce este tensiunea electrică între două puncte ?.

Test 10.

Ce este un parametru de material ?.

- o proprietate de material;
- o proprietate chimică;
- o mărime fizică căreia i se asociază o proprietate de material.

Test 11.

Care dintre aceste mărimi este o mărime de material ?.

- intensitatea câmpului electric în vid;
- tensiunea electrică ;
- permitivitatea electrică.

Test 12.

Care este unitatea de măsură a intensității câmpului electric?.

- $V/m$ ;
- $V$ ;
- $C/m^2$ .

Test 13.

Care este unitatea de măsură a inducției câmpului electric?.

- $V/m$ ;
- $V$ ;
- $C/m^2$ .

Test 14.

Care este unitatea de măsură a tensiunii electrice?.

- $V/m$ ;
- $V$ ;
- $C/m^2$ .

Test 15.

Care este unitatea de măsură a densității de volum a sarcinii electrice?.

- $V/m$ ;
- $C/m^3$ ;
- $C/m^2$ .

Test 16.

Care este unitatea de măsură a densității de suprafață a sarcinii electrice?.

- $V/m$ ;
- $C/m^3$ ;
- $C/m^2$ .

Test 17.

Care este unitatea de măsură a densității liniare a sarcinii electrice?.

- $V/m$ ;
- $C/m^3$ ;
- $C/m$ .

Test 18.

Care este unitatea de măsură a permitivității dielectrice?.

- $F/m$ ;
- $C/m^3$ ;
- $C/m^2$ .