C U R S UL 2

ELECTROSTATICA (2)

1.4. CÂMPUL ELECTRIC ÎN DIELECTRICI

1.4.1. Dielectricii. Momentul electric. Polarizaţie

Dielectricii (izolanţii) au particulele elementare legate în atomi şi molecule, astfel încât electronii nu se pot separa de atom ca în cazul conductoarelor. Sub acţiunea forţelor câmpului electric, au loc deplasări limitate ale particulelor elementare care transformă atomul sau molecula într-un dipol electric elementar.

Se numeşte **dipol electric, un sistem de sarcini egale şi de semne contrare (+*q* şi - *q*) situate la o distanţă mică fixă** $\bar{l}$ (fig.1.11).

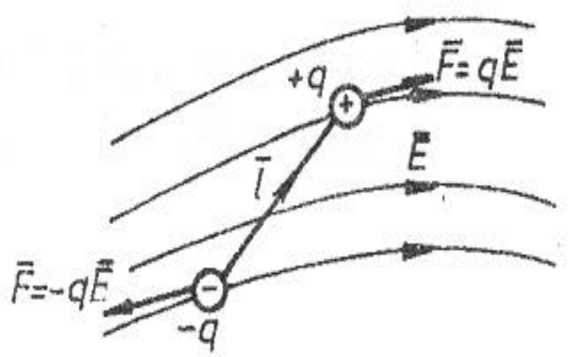

Fig.1.11 - Dipolul electric.

Dipolul se caracterizează prin momentul dipolului $\bar{p}_d$ **:**

$$\bar{p}_d = q\,\bar{l}\,, \tag{1.19}$$

vectorul $\bar{l}$ fiind orientat de la sarcina negativă la sarcina pozitivă. Unitatea de măsură este coulombmetru (C m).

Există dielectrici cu molecule polare (HCl, H_2O, NO_2), ale căror molecule se prezintă sub forma unor dipoli electrici elementari (centrul sarcinilor pozitive (nucleul), diferă de centrul sarcinilor negative (electronii)) sunt orientaţi în toate direcţiile, în mod dezordonat. Prin introducerea acestora într-un câmp electric, moleculele polare se orientează după direcţia câmpului electric (fig.1.11).

Există dielectrici (O_2, N, Si, Ge) cu molecule nepolare, la care dipolii elementari apar numai prin deformarea atomilor când aceştia sunt introduşi într-un câmp electric.

Fenomenul de orientare a dipolilor electrici elementari după o anumită direcţie se numeşte polarizare. Polarizarea poate fi **temporară,** dacă orientarea dipolilor elementari depinde de intensitatea câmpului electric în care este situat dielectricul şi încetează la dispariţia câmpului electric şi este **permanentă**, dacă nu depinde de intensitatea câmpului electric şi rămâne şi după dispariţia câmpului electric.

Polarizarea permanentă poate apărea sub forma: **polarizării piezoelectrice** (apare prin deformare mecanică la unele cristale); **polarizării piroelectrice** (apare la unele cristale prin încălzire); **polarizării permanente a electreţilor** (răşini, plexiglas, care inițial sub formă lichidă sunt introduși într-un câmp electric și ca urmare momentele electrice se vor orienta în sensul câmpului electric. Apoi la răcire, momentele electrice rămîn orientate pe direcția inițială).

Pentru caracterizarea stării de polarizare a unui mic corp dielectric, se utilizează o mărime fizică vectorială primitivă numită **moment electric** $\overline{p}$, definită prin relaţiile:

$$\overline{C} = \overline{p} \times \overline{E}_v \ , \qquad (1.20)$$

$$\overline{F} = \text{grad}\left(\overline{\text{p}} \cdot \overline{E}_v\right) = \left(\overline{p}\,\nabla\right)\overline{E}_v \ . \qquad (1.21)$$

În relaţiile (1.20) şi (1.21) $\overline{E}_v$ reprezintă intensitatea câmpului electric în vid în punctul în care se află corpul, $\overline{C}$ - cuplul electric care acţionează asupra corpului orientându-l după direcţia câmpului electric, $\overline{p}$ - momentul electric, $\overline{F}$ - forţa ce se exercită asupra corpului introdus într-un câmp electric neuniform (gradientul din formula 1.21) acţionând numai asupra intensităţii câmpului electric). Forţa apare dacă cele două forțe ce acționează asupra sarcinilor dipolului nu sunt egale în modul (intensitatea câmpului diferă în cele două puncte) sau dacă liniile de câmp nu sunt paralele (câmpul electric nu este omogen). Există moment electric temporar (dispare dacă câmpul electric dispare) și moment electric permanent (care se păstrează și după ce corpul a fost scos din câmpul electric).

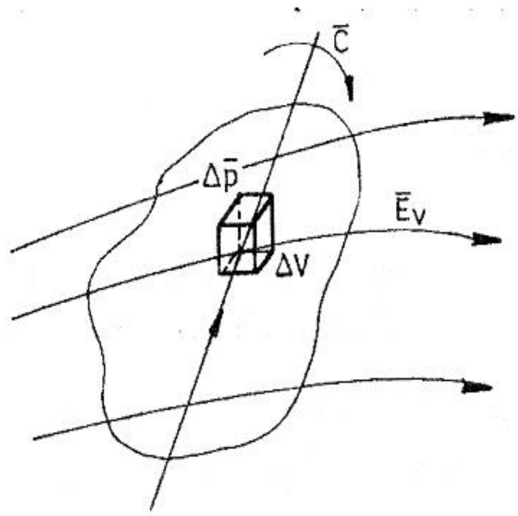

Fig.1.12 - Explicativă la calculul polarizaţiei electrice.

Vectorul moment electric total se obţine din suma momentului electric permanent $\overline{p}_p$ şi a momentului electric temporar $\overline{p}_t$:

$$\overline{p} = \overline{p}_p + \overline{p}_t \, . \tag{1.22}$$

Starea locală de polarizare a unui corp masiv se caracterizează cu ajutorul unei mărimi fizice vectoriale derivate numită **polarizaţie electrică** $\overline{P}$ definită prin relaţia:

$$\overline{P} = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta \overline{p}}{\Delta V} = \frac{\mathrm{d}\overline{p}}{\mathrm{d}V} \, , \tag{1.23}$$

unde $\Delta \overline{p} = \sum \overline{p}_i$ reprezintă suma vectorială a momentelor electrice din volumul mic **ΔV** a corpului considerat (fig.1.11). Ţinând seama de relaţia (1.22) se poate scrie şi pentru polarizaţie relaţia:

$$\overline{P} = \overline{P}_p + \overline{P}_t \, , \tag{1.24}$$

unde $\overline{P}_p$ reprezintă **vectorul polarizaţie permanentă**, iar $\overline{P}_t$ - **vectorul polarizaţie temporară.**

Unitatea de măsură a momentului electric este **Coulomb metru** (**Cm**), iar a polarizaţiei este **Coulomb pe metru mătrat (C/m^2)**.

1.4.2. Generalizarea relaţiilor obţinute pentru câmpul electric din vid pentru dielectrici.

Dacă experienţele lui **Coulomb** s-ar fi efectuat într-un gaz sau într-un lichid izolant, s-ar fi constatat că modulul forţelor de interacţiune este mai mic decât cel al forţelor măsurate în vid. Se defineşte **permitivitatea relativă ε_r a unui mediu ca raportul dintre forţa de interacţiune dintre două sarcini punctiforme aflate în vid şi forţa de interacţiune dintre cele două sarcini aflate în acel mediu şi la aceeaşi distanţă.**

Într-un mediu oarecare omogen, relaţiile (1.5), (1.7), (1.15), (1.16) se vor putea scrie:

$$\overline{F} = q\,\overline{E}\ ;$$

$$\overline{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\,\frac{q_1\,q_2}{r_{12}^3}\,\overline{r}_{12}\ ;$$

$$\overline{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\left[\int_V \frac{\rho_v\,\overline{r}}{r^3}\,dV + \int_S \frac{\rho_s\,\overline{r}}{r^3}\,dS + \int_C \frac{\rho_l\,\overline{r}}{r^3}\,dl + \sum_{k=1}^{n} \frac{q_k}{r_k^3}\,\overline{r}_k\right];$$

$$\overline{D} = \varepsilon\,\overline{E}\ .$$

(1.25...1.28)

unde $\overline{E}$, $\overline{D}$ reprezintă intensitatea, respectiv inducţia câmpului electrostatic stabilite în dielectrici, $\boldsymbol{\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0}$ - permitivitatea dielectricului, $\boldsymbol{\varepsilon_r}$ - permitivitatea relativă a dielectricului.

În tabelul 1.1 sunt date valorile permitivităţii relative şi a rigidităţii dielectrice $\boldsymbol{E_d}$ pentru câteva materiale izolante folosite în construcţia maşinilor şi aparatelor electrice. **Rigiditatea dielectrică reprezintă valoarea maximă a intensităţii câmpului electric din material pentru care acesta îşi păstrează proprietăţile izolante.**

Tabelul 1.1

Nr. crt.	**Materialul**	$\boldsymbol{\varepsilon_r}$	$\boldsymbol{E_d}$ **[V/m.10^5]**
1	Bachelită	2,8	200
2	Preşpan	3,4...4,3	110...300
3	Ulei de transformator	2...2,5	80...120
4	Aer uscat	1,0006	45
5	Sticlă	4...17	120...200
6	Cuarţ	4...4,2	170...200
7	Mică	7	2500...3500
8	Porţelan glazurat	5...6,5	300...380
9	Steatită glazurată	5...6,4	200...300
10	Micafoliu	4...5	300...400

1.5. RELAŢIILE FUNDAMENTALE ALE ELECTROSTATICII

Pentru rezolvarea problemelor de electrostatică se utilizează relaţiile generale ale electrostaticii dintre care unele sunt legi generale, altele sunt legi de material, iar altele sunt teoreme. În electrostatică sunt patru legi, din care una (**legea acţiunii ponderomotoare**) a fost enunţată prin relaţiile 1.5 şi 1.25.

1.5.1. Legea polarizaţiei temporare.

Experimental s-a stabilit că pentru materiale izotrope şi liniare, **polarizaţia temporară este proporţională cu intensitatea locală a câmpului electric:**

$$\overline{P}_t = \varepsilon_0 \, \chi_e \, \overline{E} \, , \tag{1.29}$$

unde χ_e este o mărime adimensională constantă care depinde de material şi se numeşte **susceptivitate electrică.**

Relaţia (1.29) reprezintă legea polarizaţiei electrice temporare.

1.5.2. Legea legăturii dintre inducţia electrică, intensitatea câmpului electric şi polarizaţie.

Tot experimental s-a dedus că între**,** $\overline{E}$, $\overline{D}$ şi $\overline{P}$ există următoarea relaţie:

$$\overline{D} = \varepsilon_0 \, \overline{E} + \overline{P} \, , \tag{1.30}$$

relaţie care reprezintă legea legăturii dintre inducţie, intensitate şi polarizaţie în câmpul electric.

În cazul dielectricilor doar cu polarizaţie temporară, relaţia (1.30) devine:

$$\overline{D} = \varepsilon_0 \, \overline{E} + \varepsilon_0 \, \chi_e \, \overline{E} = \varepsilon_0 \left(1 + \chi_e\right) \overline{E} = \varepsilon_0 \, \varepsilon_r \, \overline{E} = \varepsilon \, \overline{E} \, . \tag{1.31}$$

Materialele dielectrice se împart în:

- **materiale diaelectrice**, care au molecule nepolare, susceptivitatea electrică foarte mică şi practic independentă de temperatură, permitivitatea relativă foarte apropiată de unitate şi deci $\boldsymbol{\varepsilon \approx \varepsilon_0}$**;**

- **materiale paraelectrice**, au molecule polare, susceptivitatea relativă mare şi invers proporţională cu temperatura absolută.

1.5.3. Legea fluxului electric.

Se defineşte **fluxul electric printr-o suprafaţă S** (deschisă sau închisă) **ca integrala de suprafaţă a vectorului inducţie electrică** $\overline{\mathrm{D}}$ **prin această suprafaţă** (fig.1.13):

$$\Psi_{S_\Gamma} = \int_{S_\Gamma} \overline{D}\,\mathrm{d}\overline{\mathrm{S}} = \int_{S_\Gamma} D\,\mathrm{d}S\cos\alpha\,. \qquad (1.32)$$

Elementul de suprafață $\mathrm{d}\overline{\mathrm{S}}$ este perpendicular pe suprafață și are sensul în care se calculează fluxul electric.

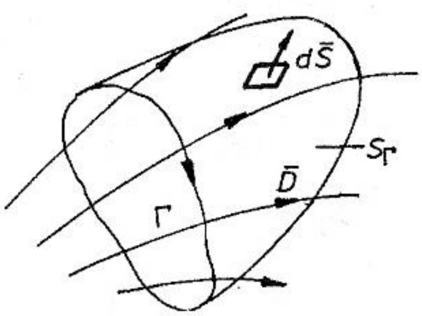

Fig.1.13 - Explicativă la calculul fluxului electric.

Se verifică experimental că **fluxul electric printr-o suprafaţă închisă Σ este numeric egal cu sarcina totală q_Σ conţinută în interiorul acelei suprafeţe:**

$$\Psi_\Sigma = \oint_\Sigma \overline{D}\,\mathrm{d}\overline{S} = \oint_\Sigma D\,\mathrm{d}S\cos\alpha = q_\Sigma\,. \qquad (1.33)$$

Elementul de suprafață $\mathrm{d}\overline{\mathrm{S}}$ este perpendicular pe suprafață și are totdeauna sensul spre exteriorul suprafeței. q_Σ reprezintă suma algebrică a sarcinilor electrice din interiorul suprafeței **Σ.**

Relaţia (1.33) reprezintă forma integrală a legii fluxului electric.

În cazul în care sarcina q_Σ este repartizată în întregul volum al unui corp dielectric și are densitatea de volum a sarcinii electrice ρ_v, se poate scrie:

$$\oint_\Sigma \overline{D}\,\mathrm{d}\overline{S} = q_\Sigma = \int_{V_\Sigma} \rho_v\,\mathrm{d}\mathrm{V}\,. \qquad (1.34)$$

Aplicând primei integrale din relaţia (1.34) o transformare Gauss-Ostrogradski, se obţine:

$$\oint_\Sigma \overline{\mathrm{D}}\,d\overline{S} = \int_{V_\Gamma} \mathrm{div}\,\overline{D}\,\mathrm{d}V = \int_{V_\Sigma} \rho_\mathrm{v}\,\mathrm{d}\mathrm{V}\,, \qquad (1.35)$$

de unde rezultă egalând elementele integrate, forma locală a legii fluxului electric:

$$\operatorname{div} \overline{D} = \rho_{\mathrm{v}} . \tag{1.36}$$

Divergenţa inducţiei electrice în orice punct din câmpul electric omogen, este egală cu densitatea de volum a sarcinii electrice.

Aplicaţie

Să se calculeze câmpul electric creat de un plan **P** încărcat electric uniform cu densitatea de suprafaţă a sarcinii electrice + $\boldsymbol{\rho_s}$.

Rezolvare

Se consideră suprafaţa închisă **Σ** formată din suprafaţa laterală S_l a unui cilindru circular drept (având axa perpendiculară pe plan) şi suprafeţele bazelor $\mathbf{S_b}$ **(** având planele lor paralele cu plan **P)**, egal depărtate de planul **P**. Din motive de simetrie, inducţia electrică $\overline{D}$ este perpendiculară pe planul **P** (fig.1.14) și pleacă de la plan (pentru că este încărcat pozitiv. Elementele de suprafață $\mathrm{d}\overline{\mathrm{S}}$ vor fi perpendiculare pe suprafețele bazelor și îndreptate spre exterior (au sensul inducției), iar pe suprafața laterală a cilindrului va fi perpendiculară pe generatoarea cilindrului. Ca urmare, fluxul electric prin suprafaţa laterală a cilindrului este zero ($\overline{D} \perp \mathrm{d}\overline{\mathrm{S}}$), tot fluxul reducându-se la fluxul prin suprafeţele bazelor de arii egale. Din legea fluxului electric rezultă (deoarece toate punctele de pe suprafața bazelor sunt la distanțe egale de plan și deoarece suprafețele sun mici putem considera că inducția electrică pe suprafețele bazelor este aceași):

$$\Psi_\Sigma = \int_\Sigma \overline{D}\,\mathrm{d}\overline{S} = \int_{S_l} \overline{D}\,\mathrm{d}\overline{S} + 2\int_{S_b} \overline{D}\,\mathrm{d}\overline{S} = \int_{S_l} D \cdot dS \cdot \cos\pi/2 + 2\int_{S_b} D \cdot dS \cdot \cos 0 =$$

$$= 2\, S\, D = q_\Sigma = \rho_{\mathrm{s}}\, \mathrm{S} .$$

Sarcina electrică din interiorul suprafeței **Σ** este doar sarcina cu care este încărcată porțiunea din plan ce este tăiată de cilindru (vezi figura 1.14).

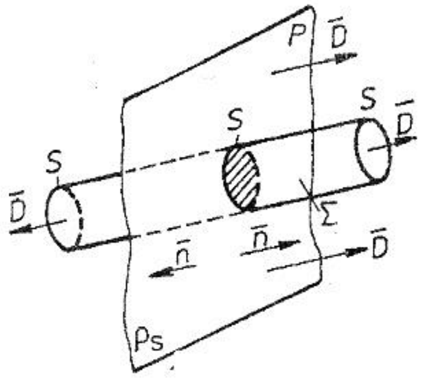

Fig.1.14 - Explicativă la calculul câmpului electric produs de un plan încărcat uniform cu densitatea de sarcină electrică ρ_s.

Din relaţia de mai sus rezultă inducţia electrică ***D*** în modul şi ca vector:

$$D = \rho_s / 2 \quad , \quad \overline{D} = \rho_s \overline{n} / 2,$$

unde $\overline{n}$ este versorul normalei la suprafaţă şi are sensul de la plan spre exterior deoarece sarcina este pozitivă.

Se observă că vectorul inducţie electrică $\overline{D}$ este perpendicular pe planul **P** şi are modulul constant nedepinzând de distanţa dintre punct şi plan, deci, câmpul electric este omogen. Ca urmare a acestui fapt, între armăturile unui condensator plan câmpul electric se poate considera uniform şi constant.

1.5.4. Teorema conservării sarcinilor electrice adevărate.

La electrizarea corpurilor neutre din punct de vedere electric, de exemplu prin frecare, unul dintre corpuri se încarcă cu sarcina +***q*** (bastonul de sticlă) iar celălalt cu sarcina - ***q*** (mătasea). Sistemul format de cele două corpuri electrizate rămâne cu sarcina totală zero.

Experienţa arată că în fenomenele de electrizare, **apariţia unei sarcini electrice de un semn pe un corp sau pe un sistem izolat de corpuri este însoţită de apariţia unei sarcini electrice egale şi de semn contrar pe alt corp sau alte corpuri ale sistemului. Rezultă că sarcina totală a unui sistem izolat de corpuri este constantă:**

$$q_t = \sum_{k=1}^{n} q_k = \text{const.} \qquad (1.37)$$

Relaţia (1.37) este o consecinţă a legii conservării sarcinii electrice, care se va studia la electrocinetică (paragraful 2.6.1).

1.5.5. Teorema potenţialului electrostatic.

S-a stabilit experimental că un câmp electrostatic odată stabilit se menţine fără a mai fi nevoie de un aport de energie din exterior. Ca urmare, în aceste câmpuri, nu se poate obţine (consuma) lucru mecanic prin efectuarea unui ciclu de transformări reversibil.

Dacă luăm un corp punctiform încărcat cu sarcina electrică ***q*** şi-l purtăm pe un contur închis **Γ** (fig.1.15) situat într-un câmp electrostatic, lucrul mecanic efectuat de forţa electrică $\overline{F}$, care se exercită asupra corpului va fi:

$$L_\Gamma = \oint_\Gamma \overline{F}\, \mathrm{d}\bar{l} = q \oint_\Gamma \overline{E}\, \mathrm{d}\bar{l} = W_f - W_i = 0,$$

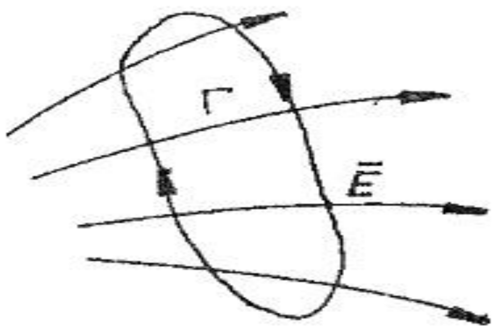

Fig.1.15. Explicativă la calculul lucrului mecanic.

deoarece lucrul mecanic consumat trebuie să fie egal cu variația energiei câmpului, iar energia finală $\mathbf{W}_f$ a câmpului trebuie să fie egală cu energia iniţială $\mathbf{W}_i$.

Deoarece sarcina electrică ***q*** este diferită de zero, rezultă:

$$\oint_\Gamma \overline{E}\, \mathrm{d}\bar{l} = 0. \tag{1.38}$$

Relaţia (1.38) reprezintă forma integrală a teoremei potenţialului electrostatic, care afirmă că în câmpul electrostatic, **circulaţia vectorului intensităţii câmpului electric este nulă pe orice curbă închisă.**

Teorema potenţialului electrostatic are următoarele consecinţe:

a) **Într-un câmp electrostatic nu există linii de câmp închise.**

Presupunând că ar exista o linie de câmp închisă **Γ** și din relaţia (1.38) rezultă, ţinând seama că $\overline{E} \parallel \mathrm{d}\bar{l}$:

$$\oint_\Gamma \overline{E}\, \mathrm{d}\bar{l} = \oint_\Gamma E\, \mathrm{d}l = 0.$$

Dar $\overline{E}\, \mathrm{d}\bar{l} = E\, \mathrm{d}l \rangle 0$ şi deoarece o sumă de termeni pozitivi nu poate fi nulă, rezultă că presupunerea existenţei unei linii de câmp închisă **Γ** este falsă.

b) **Tensiunea electrică între două puncte nu depinde de drum.**

Aplicând teorema potenţialului curbei închise **Γ** formată din curbele deschise **C_1** şi **C_2** rezultă (fig.1.16):

$$\oint_{\Gamma} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l} = \int_{A(C_1)}^{B} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l} + \int_{B(C_2)}^{A} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l} = \int_{A(C_1)}^{B} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l} - \int_{A(C_2)}^{B} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l} = 0,$$

deci:

$$U_{AB} = \int_{A(C_1)}^{B} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l} = \int_{A(C_2)}^{B} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l}. \qquad (1.39)$$

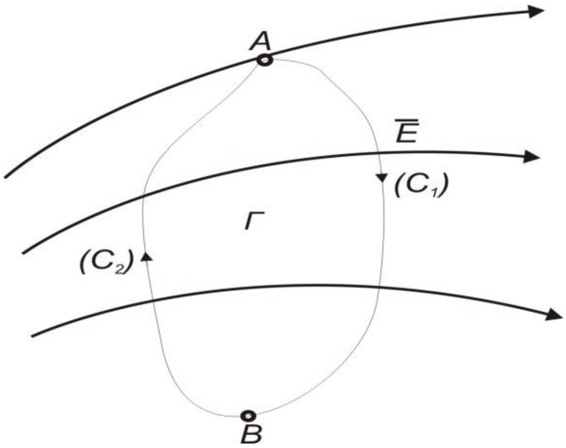

Fig.1.16 – Explicativă la independenţa valorii tensiunii electrice de drum.

c) **Se poate defini o mărime scalară de punct V numită potenţial electric scalar. C**u ajutorul acestui potenţial se poate determina intensitatea câmpului electric cu formula:

$$\overline{E} = E_x\,\bar{i} + E_y\,\bar{j} + E_z\,\bar{k} = -\operatorname{grad} V = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\bar{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\bar{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\bar{k}\right). \qquad (1.40)$$

Potenţialul electric al unui punct se determină cu relaţia:

$$V(P) = V(P_0) - \int_{P_0}^{P} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l} = V(P_0) + \int_{P}^{P_0} \overline{E}\,\mathrm{d}\bar{l}, \qquad (1.41)$$

unde $V(P_0)$ reprezintă potenţialul punctului de referinţă P_0.

Din relaţia (1.41) rezultă că potenţialul electric al unui punct din câmpul electric, este determinat numai cu aproximaţia unei constante (valoarea potenţialului din punctul de referinţă). În probleme, se consideră punctul de referinţă la infinit sau la suprafaţa pământului, iar valoarea lui se consideră zero.

Diferenţa de potenţial dintre două puncte **A** şi **B** din câmpul electrostatic este:

$$V_A - V_B = V(P_0) + \int_A^{P_0} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} - \left(V(P_0) + \int_B^{P_0} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} \right) =$$

$$= \int_A^{P_0} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} - \left(\int_B^{P_0} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} \right) = \int_A^{P_0} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} + \left(\int_{P_0}^{B} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} \right) = \int_A^{B} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} = U_{AB} \,. \qquad (1.42)$$

Din relaţia (1.42) rezultă că tensiunea electrică dintre două puncte este egală cu diferenţa potenţialelor electrice ale celor două puncte și nu depinde de valoarea potențialului punctului de referință.

Aplicaţii

1. Să se calculeze potenţialul electric al unui punct **P** aflat în câmpul electrostatic produs de un corp punctiform încărcat cu sarcina electrică ***q***. Se consideră punctul de referinţă $\mathbf{P_0}$ la infinit şi având potenţialul electric zero.

Rezolvare

Din relaţia (1.41) rezultă (ținând cont de valoarea lui E dată de relația (1.27):

$$V(P) = P(\infty) + \int_P^{\infty} \overline{E}\,\mathrm{d}\overline{l} = \int_R^{\infty} \frac{q}{4\pi\varepsilon} \frac{\overline{R}}{R^3}\,\mathrm{d}\overline{l} = \int_R^{\infty} \frac{q}{4\pi\varepsilon} \frac{dR}{R^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon R} \,.$$

(1.43)

În relația de mai sus s-a făcut integrarea după o curbă C care este o linie de câmp, deci $\mathrm{d}\overline{l} = \mathrm{d}\,\overline{R}$

Extinzând relaţia (1.43) pentru cazul în care câmpul electric este produs de corpuri încărcate cu sarcini distribuite în volum, pe suprafaţă, pe corpuri filiforme, ale căror densităţi de sarcină electrică sunt cunoscute, şi de către corpuri punctiforme, rezultă:

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \left[\int_{V_\Sigma} \frac{\rho_{\mathrm{v}}\,\mathrm{d}V}{\mathrm{r}} + \int_{S_\Gamma} \frac{\rho_{\mathrm{s}}\,\mathrm{d}S}{\mathrm{r}} + \int_{C} \frac{\rho_{\mathrm{l}}\,\mathrm{d}l}{\mathrm{r}} + \sum_{k=1}^{n} \frac{q_k}{r_k} \right]. \qquad (1.44)$$

2. Să se determine tensiunea electrică între punctele A(2,4,6) şi B(6,3,4) aflate într-un dielectric dacă intensitatea câmpului electric are expresia:

$$\overline{E} = 10^5 (y\, z\, \overline{i} + x\, z\, \overline{j} + x\, y\, \overline{k}) \frac{V}{m} .$$

Coordonatele sunt date în centimetri.

Rezolvare

Metoda 1.

Tensiunea electrică dintre punctele A şi B se va calcula pe conturul $AA^{'}CB^{'}B$ din figura 1.17:

$$U_{AB} = \int_{A}^{A'} \overline{E}\, d\,\overline{l} + \int_{A'}^{C} \overline{E}\, d\,\overline{l} + \int_{C}^{B'} \overline{E}\, d\,\overline{l} +$$

$$+ \int_{B'}^{B} \overline{E}\, d\,\overline{l} .$$

Pentru integralele de mai sus vom avea pe porţiunile:

$AA^{'}$:

$d\,\overline{l} = -\overline{j}\, d\,y$, $x = 2\cdot10^{-2}$, $z = 6\cdot10^{-2}$

$A^{'}C$:

$d\,\overline{l} = -\overline{k}\, d\,z$, $x = 2\cdot10^{-2}$, $y = 0$;

$CB^{'}$:

$d\,\overline{l} = \overline{i}\, d\,x$, $y = 0$, $z = 4\cdot10^{-2}$;

$B^{'}B$:

$d\,\overline{l} = \overline{j}\, d\,y$, $x = 6\cdot10^{-2}$, $z = 4\cdot10^{-2}$ ..

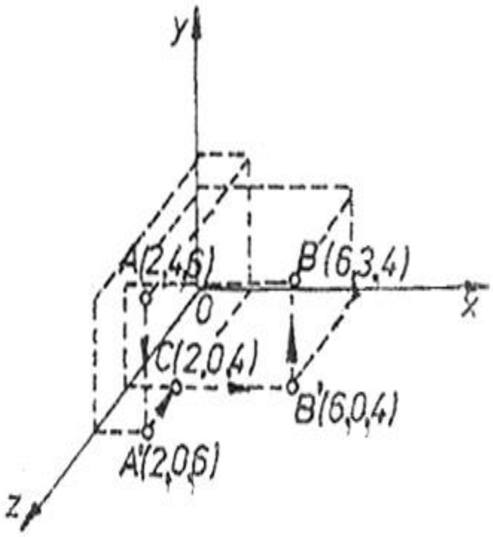

Fig.1.17. Explicativă la aplicaţia 2.

Rezultă tensiunea dintre punctele A şi B:

$$U_{AB} = 10^5 \left[\int_0^{4\cdot10^{-2}} (6\cdot10^{-2} y\, \overline{i} + 12\cdot10^{-4}\, \overline{j} + 2\cdot10^{-2} y\, \overline{k})(-\overline{j}\, dy) + \int_{4\cdot10^{-2}}^{6\cdot10^{-2}} (2\cdot10^{-2} z\, \overline{j})(-\overline{k}\, dz) \right] +$$

$$+10^5 \left[\int_{2\cdot10^{-2}}^{4\cdot10^{-2}} (4\cdot10^{-2} x\, \overline{j})(\overline{i}\, dx) + \int_0^{3\cdot10^{-2}} (4\cdot10^{-2} y\, \overline{i} + 24\cdot10^{-4}\, \overline{j} + 6\cdot10^{-2} y\, \overline{k})(\overline{j}\, dy) \right] = 2{,}4\, V .$$

Metoda 2.

Problema se poate rezolva mai simplu ţinând seama că intensitatea câmpului electric derivă dintr-un potenţial electric ce se obţine prin rezolvarea ecuaţiei diferenţiale:

$$\frac{y\, z}{d\, x} = \frac{z\, x}{d\, y} = \frac{y\, x}{d\, z} .$$

Rezolvând ecuaţia de mai sus rezultă potenţialul electric:

$$V(x,y,z) = -x\,y\,z \cdot 10^5 + V_0 \ .$$

Tensiunea electrică între punctele A şi B va fi egală cu diferenţa potenţialelor punctelor A și B, V_A şi V_B:

$$U_{AB} = V_A - V_B = -10^5(2\cdot 10^{-2}\cdot 4\cdot 10^{-2}\cdot 6\cdot 10^{-2}) + V_0 -$$
$$-\left[-10^5(6\cdot 10^{-2}\cdot 3\cdot 10^{-2}\cdot 4\cdot 10^{-2}) + V_0\right] = 2{,}4\,V \ .$$

TEME DE STUDIU

Test 1.

Ce este un dielectric ?.

Test 2.

Ce este momentul electric ?.

Test 3.

Ce este un dipol ?.

Test 4.

Care este expresia cuplului ce acţionează asupra unui dipol aflat în câmp electric?.

Test 5.

Care este expresia forţei ce acţionează asupra unui dipol aflat în câmp electric?. Când aceasta este diferită de zero ?.

Test 6.

Ce este starea de polarizare a unui dielectric ?.

Test 7 .

Câte feluri de polarizări există ?.

Test 8.

Prin ce se caracterizează starea de polarizare a corpurilor de dimensiuni mici ?.

Test 9.

Cum şi de ce se introduce polarizaţia electrică ?.

Test 10.

Care este expresia legii polarizaţiei temporare?.

Test 11.

Care este expresia legii legăturii dintre intensitatea câmpului electric, inducţia electrică şi polarizaţie?.

Test 12.

Care este expresia legii legăturii dintre intensitatea câmpului electric, inducţia electrică şi polarizaţie pentru medii fără polarizare permanentă ?.

Test 13.

Ce este fluxul electric şi ce unitate de măsură are ?.

Test 14.

Care este legea fluxului electric?.

Test 15.

Cum se ia direcţia vectorului $d\overline{S}$ pentru suprafeţe deschise, respective pentru suprafeţe închise ?.

Test 16.

Care este expresia teoremei conservării sarcinii electrice adevărate?.

Test 17.

Care este forma integrală a teoremei potenţialului electrostatc?.

Test 18.

Care sunt principalele conseciinţe ale teoremei potenţialului electrostatic?.

Test 19

Ce este potenţialul electric ?.

Test 20.

Care este relaţia dintre tensiunea electrică dintre două puncte şi potenţialele electrice ale acestora?.

Test 21.

Care este unitatea de măsură a momentului electric al dipolului ?.

- Cm;
- Vm;
- V.

Test 22.

Care este unitatea de măsură a momentului electric ?.

- Cm;
- Vm;
- V.

Test 23.

Care este unitatea de măsură a polarizaţiei electrice ?.

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

Test 24.

Care este unitatea de măsură a fluxului electric ?.

- Cm;
- Vm;
- C.

Test 25.

Care este unitatea de măsură a potenţialului electric ?.

- Cm;

- Vm;
- V.

Test 26.

Tensiunea dintre două puncte aflate într-un câmp electrostatic depinde de curba pe care se calculează ?.

- da;
- nu;
- depinde de mediul prin care trece.