

## CURSUL 5

### ELECTROCINETICA (1)

#### 2.1. GENERALITĂȚI

Electrocinetica studiază stările electrice ale conductoarelor parcurse de curenți electrice de conducție. În Electrocinetică se prezintă mărimile fizice care caracterizează starea electrocinetică, legile și fenomenele caracteristice pentru regimul staționar cât și pentru regimul nestaționar. **Trecerea curentului electric prin conductoare determină o stare specifică a acestora, denumită stare electrocinetică, caracterizată printr-o transformare a energiei electromagnetice în alte forme de energie.** Starea electrocinetică poate fi pusă în evidență prin o serie de efecte, dintre care cele mai importante sunt:

- **efectele calorice**, evidențiate prin căldura dezvoltată la trecerea curentului electric prin conductoare;
- **efectele electrochimice**, care constau în reacțiile chimice ce au loc la trecerea curentului prin electroliți;
- **efectele mecanice** (forțe și momente), exercitate între conductoarele parcurse de curent (**interacțiuni electrodinamice**) sau între conductoarele parcurse de curent și câmpul electromagnetic (**interacțiuni electromagnetice**);
- **efectele luminoase**, care apar în becurile cu incandescență sau în cele cu descărcări electrice în gaze;
- **efectele magnetice**, care apar în jurul conductoarelor parcurse de curent electric (aparitia unui câmp magnetic - devierea acului busolei când se află lângă un conductor parcurs de curent electric);
- **efectele electrice**, care apar la descărcarea unui condensator.

În Electrotehnică se disting trei regimuri: static, staționar și nestaționar.

**Regimul static**, caracteristic stărilor electrostatice sau magnetostatice este caracterizat prin mărimi de stare ale câmpului electromagnetic constante în timp (derivatele acestora în raport cu timpul sunt nule) și prin faptul că nu există posibilitatea transformării energiei electromagnetice în alte forme de energie.

**Regimul staționar** este și el caracterizat prin mărimi de stare ale câmpului electromagnetic constante în timp (derivatele acestora în raport cu timpul sunt

nule), dar în acest regim apare posibilitatea transformării energiei electromagnetice în alte forme de energie.

**Regimul nestăţionar** este caracterizat prin mărimi de stare ale câmpului electromagnetic variabile în timp şi prin posibilitatea transformării energiei electromagnetice în alte forme de energie.

## 2.2. INTENSITATEA ŞI DENSITATEA CURENTULUI ELECTRIC

### 2.2.1. Intensitatea şi densitatea curentului electric de conducţie.

**Curentul electric reprezintă o deplasare ordonată a particulelor încărcate cu sarcină electrică.** Mişcarea particulelor încărcate electric se poate face în interiorul corpurilor sau în vid.

**Curentul electric de conducţie este reprezentat de mişcarea într-un corp conductor a unor particule încărcate cu sarcini electrice, ce se pot deplasa liber în raport cu un sistem de referinţă solidar cu corpul în care se află aceste particule.** La metalele în stare solidă, electronii din ultimul strat au posibilitatea de a părăsi atomii. Aceşti electroni se numesc electroni liberi. Ioni pozitivi care rămân, formează reţeaua cristalină a metalului. Mişcarea electronilor este o mişcare haotică, astfel că se poate considera că electronii liberi formează un gaz electronic. Dacă în metal apare un câmp electric, conform legii acţiunii ponderomotoare apare o forţă electrică care va duce la o deplasare ordonată a electronilor liberi, deci, la un curent electric de conducţie.

Caracterizarea cantitativă a stării electrocinetice se face cu ajutorul **intensităţii curentului electric de conducţie  $i$** , mărime primitivă scalară care se defineşte pe o suprafaţă orientată  $\vec{S}$ .

În cazul conductoarelor de speţa întâi, de secţiune constantă,  $S$  este suprafaţa secţiunii transversale a conductorului (fig. 2.1 a) sau a băii electrolitice în cazul conductoarelor de speţa a doua (fig. 2.1 b).

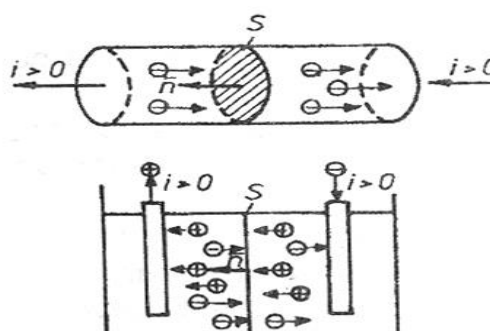


Fig.2.1. Explicativă la calculul intensităţii curentului electric de conducţie: a) de speţa întâi; b) de speţa a doua.

**Intensitatea curentului electric de conducție  $i$ , este limita raportului dintre suma algebrică a sarcinilor electrice,  $\Delta q$  ale particulelor microscopice libere care traversează secțiunea transversală a conductorului într-un anumit interval de timp și durata  $\Delta t$  a intervalului, când durata  $\Delta t$  tinde către zero și când limita există:**

$$i = \lim \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{d q}{d t} . \quad (2.1)$$

Unitatea de măsură a intensității curentului electric este **Amperul [A]**.

Intensitatea curentului electric de conducție este o mărime scalară, de aceea poate avea semnul plus sau minus. Se definește **sensul pozitiv al curentului, sensul deplasării sarcinilor electrice pozitive**. În metale, unde curentul electric este un flux de electroni care sunt încărcăți negativ, sensul curentului va fi contrar sensului de deplasare a electronilor.

Pentru caracterizarea locală a stării electrocinetice s-a introdus o mărime fizică vectorială numită **densitatea curentului electric de conducție  $\bar{J}$** . Fluxul vectorului densitate de curent printr-o suprafață oarecare a conductorului  $S$  este egal cu intensitatea curentului electric de conducție prin acea suprafață (fig. 2.2a):

$$i_s = \int_S \bar{J} d\bar{S} = \int_S \bar{J} \cdot \bar{n} dS . \quad (2.2)$$

În cazul conductoarelor omogene rectilinii și filiforme, de secțiune constantă  $S$ , iar curentul care îl străbate este continuu și uniform repartizat pe secțiunea conductorului (fig. 2.2b), se poate defini densitatea de curent de conducție astfel:

$$\bar{J} = \frac{i_s}{S} \bar{n} = J \bar{n} , \quad (2.3)$$

unde:  $S$  este secțiunea transversală a conductorului,  $J$  - modulul densității curentului electric de conducție,  $\bar{n}$  - versorul normalei secțiunii transversale a conductorului.

Unitatea de măsură a densității de curent electric este **Amperul pe metru pătrat ( $A/m^2$ )**. În practică se folosește des un multiplu al ei numit **Amper pe milimetru pătrat ( $A/mm^2$ )**.

**Liniile de curent sunt liniile tangente în fiecare punct la direcția locală a vectorului densitate de curent.**

**Volumul delimitat de suprafața tubulară formată dintr-un ansamblu de linii de curent ce trec printr-o curbă închisă  $\Gamma$  se numește tub de curent (fig. 2.2b).**

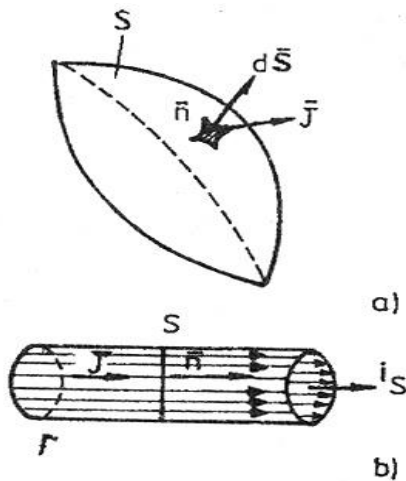
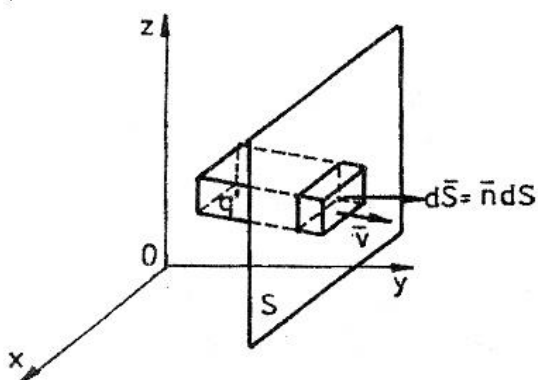


Fig.2.2 . a) Explicativă la determinarea densității de curent; b) tub de curent.

### 2.2.2. Intensitatea și densitatea curentului electric de convecție

Prin deplasarea unui corp încărcat cu sarcina electrică  $q'$ , cu viteza  $\mathbf{v}$  față de un sistem de coordonate fix, apare o deplasare ordonată a sarcinii electrice, deci un curent electric (fig.2.3). **Intensitatea curentului electric de convecție**, se definește ca limita raportului dintre suma algebrică a sarcinilor electrice ( $\Delta q'$ ) care traversează o suprafață fixă  $S$  (prin mișcarea întregului corp) într-un interval de timp și durata  $\Delta t$  a intervalului, când ultima tinde către zero și când limita există:



$$i_v = \lim \frac{\Delta q'}{\Delta t} = \frac{d q'}{d t} = \int_S \bar{J}_v d S. \quad (2.4)$$

Fig.2.3. Explicativă la calculul intensității curentului electric de convecție.

unde  $\overline{J}_v$  este vectorul densitate a curentului electric de convecție definit prin relația:

$$\overline{J}_v = \rho_v \overline{v} . \quad (2.5)$$

În relația (2.5)  $\rho_v$  reprezintă densitatea de volum a sarcinii electrice a corpului care se mișcă cu viteza  $v$  față de sistemul fix (față de suprafața  $S$ ).

### 2.3. CONDUCTOARE, IZOLANȚI, SEMICONDUCTOARE

Starea electrocinetică permite clasificarea materialelor electrotehnice în trei clase: materiale conductoare, materiale izolante și materiale semiconductoare.

a) **Materialele conductoare** permit trecerea curentului electric de conducție. La aceste materiale, sarcina electrică produsă printr-o metodă oarecare se răspândește rapid pe toată suprafața corpului. Rezistivitatea  $\rho$  are valori între  $10^{-8}$  și  $10^{-5} \Omega \cdot m$ . Materialele conductoare se subîmpart în două specii:

- **conductoare de specia întâi**, la care curentul electric reprezintă o deplasare ordonată a electronilor liberi din structura lor. Din această categorie fac parte, în general, materialele metalice (cupru, aluminiu etc.). Deplasarea electronilor prin material dă naștere curentului electric de conducție, din care motiv aceste materiale se numesc materiale electroconductoare cu conductivitate electronică.

- **conductoare de specia a doua**, la care curentul electric este datorat deplasării ordonate a ionilor. Din această categorie fac parte sărurile topite, soluțiile de săruri, de acizi sau de baze (**electroliti**). Curentul electric este o deplasare ordonată a ionilor, deci, odată cu deplasarea sarcinii are loc și o deplasare de material. Aceste conductoare se mai numesc și conductoare electrice cu conductivitate ionică.

b) **Materialele izolante (dielectricii)** nu permit trecerea curentului electric de conducție. La aceste materiale, sarcina electrică apărută prin electrizare rămâne localizată în porțiunea supusă electrizării un timp îndelungat. Din această clasă fac parte uleiurile minerale, sticla, porțelanul, cauciucul etc. Din punct de vedere electrostatic, corpurile izolante sunt atrase de corpurile electrizate și rămân lipite de acestea. Rezistivitatea lor electrică  $\rho$  are valori între  $10^8$  și  $10^{18} \Omega \cdot m$ .

c) **Materialele semiconductoare** sunt materialele ce ocupă din punct de vedere al conductibilității electrice o poziție intermediară între substanțele conductoare și cele izolante. La aceste materiale (germaniu, siliciu etc.) trecerea curentului electric se face prin deplasarea electronilor și golurilor.

## 2.4. CÂMPUL ELECTRIC ÎN SENS LARG. TENSIUNEA ELECTRICĂ. TENSIUNEA ELECTROMOTOARE

### 2.4.1. Intensitatea câmpului electric în sens larg.

Se consideră o particulă imobilă încărcată cu sarcină electrică foarte mică  $q$ , astfel încât aceasta să nu influențeze asupra câmpului electric resultant.

**Intensitatea câmpului electric în sens larg  $E_1$** , într-un punct, se definește ca raportul dintre forța totală care acționează asupra particulei aflate în acel punct și sarcina electrică  $q$  cu care este încărcată corpul:

$$\overline{E}_1 = \frac{\overline{F}}{q} . \quad (2.6)$$

După natura componentelor forțe, intensitatea câmpului electric în sens larg  $E_1$  poate avea trei componente:

- **intensitatea câmpului electric coulombian  $E_c$** , care rezultă datorită existenței sarcinilor electrice și a fost studiat la electrostatică;
- **intensitatea câmpului electric solenoidal (indus)  $E_s$** , care apare în urma fenomenului de inducție electromagnetică. Acest câmp apare numai în regim nestaționar și este definit prin relația:

$$rot \overline{E}_s = - \frac{\partial \overline{B}}{\partial t} + rot (\overline{v} \times \overline{B}) , \quad (2.7)$$

unde  $\overline{B}$  este vectorul inducție magnetică, iar  $\overline{v}$  viteza de deplasare;

- **intensitatea câmpului electric imprimat  $E_i$** , care apare în mediile neomogene din punct de vedere fizico-chimic sau în mediile accelerate. Câmpul electric imprimat este o mărime convențională, introdusă pentru a exprima în limbaj electric forțele de natură neelectrică ce produc deplasarea sarcinilor electrice în conductoare.

Rezultă expresia câmpului electric în sens larg:

$$\overline{E}_1 = \overline{E}_c + \overline{E}_s + \overline{E}_i = \overline{E}_c + \overline{E}_n , \quad (2.8)$$

unde  $\overline{E}_n = \overline{E}_s + \overline{E}_i$  reprezintă intensitatea câmpului electric necoulombian.

#### 2.4.2. Tensiunea electrică, tensiunea electromotoare

Integrala de linie a intensității câmpului electric în sens larg în lungul unei curbe între două puncte  $A$  și  $B$  se numește **tensiune electrică în sens larg** între cele două puncte în lungul acestei curbe:

$$u_{AB(C)} = \int_{A(C)}^B \overline{E}_1 d\vec{l} . \quad (2.9)$$

**Tensiunea electromotoare (t.e.m.) de contur** se definește ca integrala de linie pe o curbă închisă  $\Gamma$  a intensității câmpului electric în sens larg:

$$u_{er} = \oint_{\Gamma} \overline{E} d\vec{l} = \oint_{\Gamma} (\overline{E}_s + \overline{E}_i) d\vec{l} = \oint_{\Gamma} \overline{E}_n d\vec{l} . \quad (2.10)$$

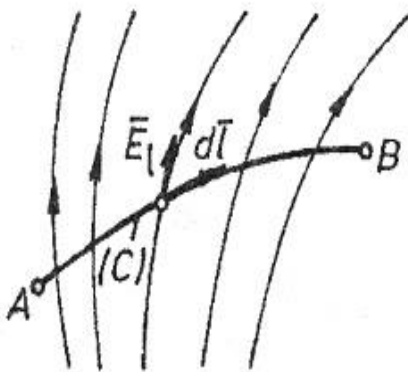


Fig.2.4. Explicativă la calculul tensiunii electrice în sens larg.

T.e.m. obținută prin integrarea intensității câmpului electric în sens larg, în lungul unei curbe închise  $\Gamma$ , coincide cu integrala componentei necoulombiene a intensității câmpului electric în lungul aceleiași curbe închise, deoarece integrala componentei coulombiene a intensității câmpului electric în lungul unei curbe închise este nulă (conform teoremei potențialului electrostatic).

În regimul electrocinetic al conductoarelor imobile, se păstrează caracterul potențial al intensității câmpului electric și ca urmare există o **teoremă a potențialului electric staționar** care are aceeași formă cu teorema potențialului electrostatic: **t.e.m. de contur  $u_{er}$  a câmpului electric  $\overline{E}$  este nulă de-a lungul oricărei curbe închise:**

$$\oint_{\Gamma} \bar{E}_l d\bar{l} = \oint_{\Gamma} \bar{E}_c d\bar{l} = 0 . \quad (2.11)$$

În regim electrocinetic staționar, t.e.m. este dată numai de câmpul electric imprimat, deoarece intensitatea câmpului electric solenoidal este nulă:

$$u_{er} = \oint_{\Gamma} \bar{E}_l d\bar{l} = \oint_{\Gamma} (\bar{E}_s + \bar{E}_i) d\bar{l} = \oint_{\Gamma} \bar{E}_i d\bar{l} . \quad (2.12)$$

Relația 2.10 se poate generaliza, definindu-se o tensiune electromotoare pentru o porțiune de circuit (o curbă deschisă  $C$ ), ca fiind integrala curbilinie pe curba respectivă a sumei dintre intensitatea câmpului electric indus și intensitatea câmpului electric imprimat (intensitatea câmpului electric necoulombian:

$$u_{ec} = \int_{A(C)}^B (\bar{E}_s + \bar{E}_i) d\bar{l} . \quad (2.13)$$

Integrala de linie a intensității câmpului electric coulombian  $\bar{E}_c$ , de la o bornă  $A$  a unui circuit electric dipolar, la cealaltă bornă  $B$  de-a lungul unei linii oarecare dintre borne se numește **tensiune la borne** sau diferență de potențial la borne:

$$u_b = \int_{A(C)}^B \bar{E}_c d\bar{l} = V_A - V_B . \quad (2.14)$$

Unitatea de măsură a tensiunii electrice și a tensiunii electromotoare este **Voltul (V)**.

În regim electrocinetic staționar (curent continuu), tensiunea, t.e.m. și intensitatea curentului se pot nota cu litere mari sau cu litere mici. În lucrarea de față se va utiliza notarea acestor mărimi cu litere mari pentru regimul staționar (c.c.), iar pentru regimul nestaționar (c.a.), cu litere mici.



## 2.5. CÂMPURILE ELECTRICE IMPRIMATE

Intensitatea câmpului electric imprimat  $E_i$  nu este un câmp electric propriu-zis ci o mărime echivalentă cu ajutorul căreia se exprimă acțiunile forțelor de natură neelectrică ce acționează asupra particulelor electrizate. Câmpurile imprimate pot fi localizate într-un întreg domeniu (**câmpuri imprimate de volum**) sau numai pe anumite suprafețe de discontinuitate (**câmpuri imprimate pe interfețe sau de contact**).

### 2.5.1. Câmpurile electrice imprimate de volum.

#### 2.5.1.1. Câmpurile electrice imprimate de accelerație.

Aceste câmpuri electrice imprimate apar în conductoarele accelerate, ca de exemplu într-un disc metalic inițial neîncărcat cu sarcină electrică, ce se rotește în jurul axei sale. Electronii liberi din metal sunt supuși unor forțe centrifuge radiale și ca urmare se vor deplasa spre marginea discului (fig.2.5a), astfel că, la periferia discului se separă sarcina electrică negativă, iar în centrul discului se separă sarcina electrică pozitivă.

Prin convenție, sensul câmpului electric imprimat se alege ca fiind sensul forței neelectrice ce acționează asupra particulelor cu sarcină pozitivă, deci câmpul electric imprimat de accelerație este radial și are sensul spre centrul discului (fig.2.5b).

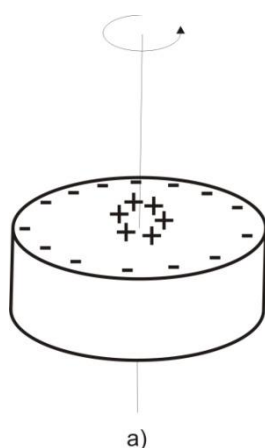
Procesul de separare a sarcinilor electrice are loc până la stabilirea echilibrului electrostatic, când forța electrică datorată câmpului electric coulombian  $\overline{E}_c$ , produs prin separarea sarcinilor din disc, compensează acțiunea forței centrifuge:

$$\begin{aligned}\overline{F} &= \overline{F}_{el} + \overline{F}_{neel} = q \overline{E}_c + q \overline{E}_i \\ &= q(\overline{E}_c + \overline{E}_i) = 0 ,\end{aligned}\tag{2.15}$$

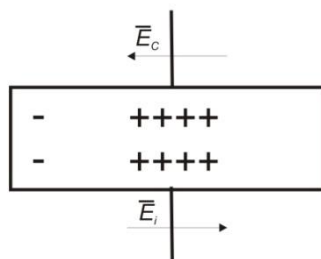
sau:

$$\overline{E}_c + \overline{E}_i = 0 .\tag{2.16}$$

Din momentul în care electronii se pun în mișcare și până în momentul stabilirii echilibrului electrostatic, apare în disc o stare electrocinetică caracterizată



a)



b)

printr-o deplasare de scurtă durată a electronilor, deplasare datorată câmpului electric imprimat de accelerație.

Fig.2.5. Explicativă la apariția câmpului electric imprimat de accelerație.

### 2.5.1.2. Câmpurile electrice imprimate de concentrație (de difuzie).

Aceste câmpuri electrice imprimate apar ca urmare a unei neomogenități în concentrația electroliților. În regiunile în care electrolitul este mai concentrat, numărul de ioni este mai mare decât în regiunile în care electrolitul este mai puțin concentrat.

Prin separarea celor două regiuni printr-un perete poros, prin difuzie, are loc egalizarea concentrației din cele două domenii ( $n_1 = n_2$ ), figura 2.6. Sub acțiunea forțelor neelectrice, datorate neomogenității electrolitului, numărul de ioni de difuzie prin peretele poros este diferit în cele două sensuri.

Cele două regiuni despărțite de peretele poros se vor încărca, una pozitiv, iar cealaltă negativ.

Apare un câmp electric coulombian  $\vec{E}_c$  datorită acestei distribuții a sarcinilor electrice, care se opune continuării difuziei, respectiv câmpului electric imprimat. La echilibru sunt valabile relațiile (2.15) și (2.16).

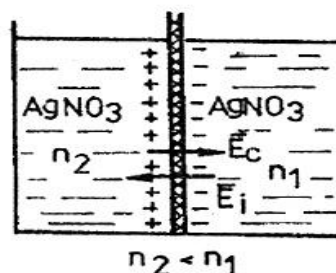


Fig.2.6. Câmpul electric imprimat de concentrație.

### 2.5.1.3. Câmpurile electrice imprimate termoelectrice.

Aceste câmpuri electrice imprimate apar ca urmare a unei încălziri neuniforme a unui conductor metalic. Datorită diferenței de temperatură (a agitației termice diferite), electronii vor difuza din zona de agitație termică mai mare

(temperatură mai ridicată) în zona cu agitație termică mai scăzută (temperatură mai scăzută). Regiunea cu temperatură mai ridicată (fig.2.7) se va încărca pozitiv, iar regiunea cu temperatură mai scăzută se va încărca negativ (**efectul Thomson**).

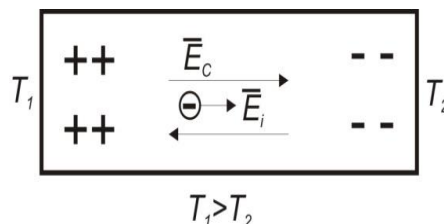


Fig.2.7. Câmpul electric imprimat termoelectric.

### 2.5.2. Câmpurile electrice imprimate pe interfețe (de contact)

Aceste câmpuri apar numai la suprafața de separare a două medii ce prezintă neomogenități fizice sau chimice.

#### 2.5.2.1. Câmpurile electrice imprimate de contact voltaice.

Aceste câmpuri electrice imprimate apar pe suprafața de contact a două metale care se găsesc la aceeași temperatură și nu sunt supuse acțiunii vreunui agent extern. Câmpul electric imprimat de contact este pus în evidență prin apariția unei diferențe de potențial ( $V_1 - V_2$ ) între cele două conductoare (fig. 2.8). Această diferență de potențial se explică prin faptul că în stratul de neomogenitate, forțele datorate agitației termice ce se exercită asupra electronilor liberi din acest strat, nu se compensează și apare o deplasare a electronilor din zona mai densă în zona mai puțin densă.

Tensiunea electromotoare imprimată ce apare este:

$$u_{ei12} = \int_1^2 \vec{E}_i \cdot d\vec{l} = - \int_1^2 \vec{E}_c \cdot d\vec{l} = - (V_1 - V_2) = V_2 - V_1 = U_{21}, \quad (2.17)$$

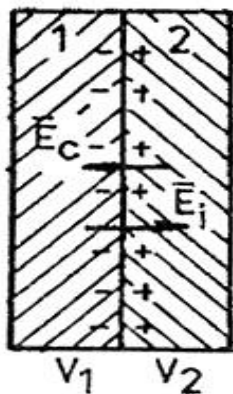


Fig.2.8. Câmpul electric imprimat de contact voltaic.

unde  $U_{21}$  este tensiunea de contact, iar  $\bar{E}_i = -\bar{E}_c$  la echilibru.

În stratul de contact al celor două conductoare se stabilește o diferență de potențial egală și de semn contrar cu t.e.m. imprimată de contact. Diferența de potențial depinde de temperatură și crește cu creșterea ei. Câmpurile imprimate de contact se supun legii câmpurilor imprimate voltaice, care este o lege de material: **T.e.m. a câmpurilor imprimate voltaice este nulă pentru orice contur închis  $\Gamma$  dus prin conductori metalici situați la aceeași temperatură**

**și sustrăși oricărei alte acțiuni fizice din exterior.** O consecință a acestei legi este că nu se poate obține o mișcare a particulelor elementare încărcate electric pe drumuri închise (curent electric continuu) cu ajutorul câmpurilor imprimate voltaice.

#### 2.5.2.2. Câmpurile electrice imprimate termoelectrice.

Se consideră un circuit conductor închis, format din două conductoare electrice din materiale diferite (fig.2.9) sudate la ambele capete. Dacă se supun cele două suduri la temperaturi diferite  $T_A > T_B$ , în circuit apare un curent electric (**efect Seebeck**).

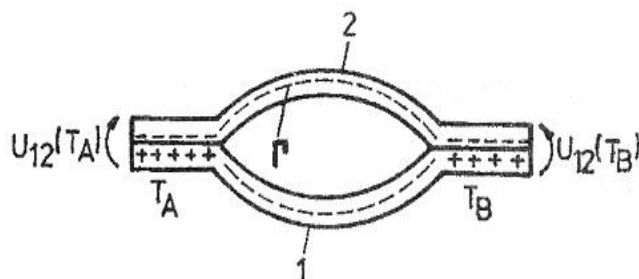


Fig.2.9. Câmpul electric imprimat termoelectric.

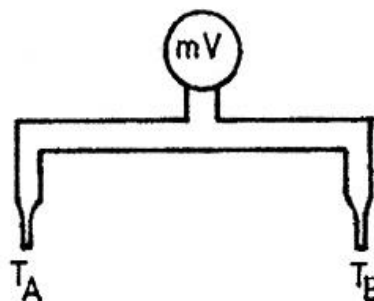


Fig.2.10. Schema de principiu a unui termocuplu.

Tensiunile imprimate de contact care apar în cele două suduri sunt diferite datorită diferenței de temperatură, obținându-se astfel o t.e.m. diferită de zero:

$$u_{er} = \oint_{\Gamma} \bar{E}_i d\bar{l} = \int_{1(A)}^2 \bar{E}_i d\bar{l} + \int_{2(B)}^1 \bar{E}_i d\bar{l} = u_{ei12}(T_A) + u_{ei21}(T_B) = \\ = U_{12}(B) - U_{12}(A) \neq 0. \quad (2.18)$$

Pe principiul câmpurilor imprimate termoelectrice, se construiesc termocuplurile întrebuințate pentru determinarea diferenței de temperatură, prin măsurarea tensiunii ce apare între cele două capete ale metalelor diferite nesudate între ele, cu ajutorul unui milivoltmetru magnetoelectric de curent continuu (fig. 2.10).

În tabelul 2.1 sunt redată câteva termocuple folosite în industrie.

**Tabelul 2.1**

<b>Metalele folosite</b>	<b>Temperatura maximă de utilizare</b>	<b>T.e.m. ce se obține pentru <math>\Delta T = T_A - T_B = 100 \text{ K}</math></b>
Constantan - cupru	500° C	5 mV
Constantan - cromnichel	900° C	6,2 mV
Constantan - fier	900° C	5,1 mV
Nichel - cromnichel	(de la 300° C -1 000° C)	4,1 mV
Platin - platinrodiu	(de la 600° C) -1 600° C	0,9 mV
Iridiu - iridiurodiu	2 000° C	0,5 mV
Wolfram - wolframmolibden	3 000° C	0,3 mV

### 2.5.2.3. Câmpurile electrice imprimate de contact galvanice.

Aceste câmpuri electrice imprimate apar la contactul dintre un metal și un electrolit, ca urmare a diferenței ce există între presiunea de dizolvare a metalului în electrolit și presiunea osmotică (de depunere) a ionilor lui din electrolit pe metal. Dacă se introduce o bară de zinc într-o soluție de sulfat de zinc, presiunea de dizolvare  $p$  este mai mare decât presiunea osmotică  $p_o$ .

Ionii pozitivi de zinc părăsesc metalul, acesta rămânând încărcat negativ, iar soluția se încarcă pozitiv. Astfel, la contactul dintre metal și soluție ia naștere un câmp electric imprimat  $\overline{E}_i$  care are sensul dinspre metal spre soluție, și un câmp electric coulombian  $\overline{E}_c$  de sens contrar, care se opune trecerii ionilor în soluție (fig.2.11a).

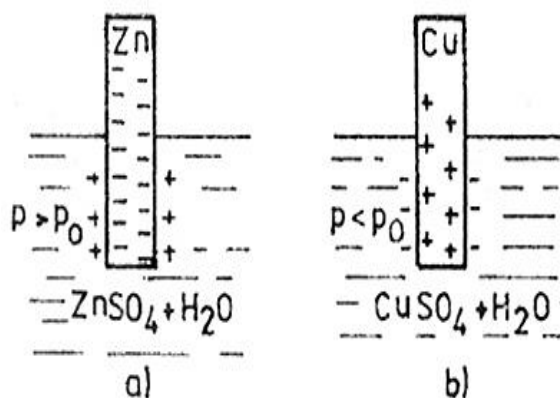


Fig.2.11 - Explicativă la apariția câmpului imprimat galvanic pentru:a) zinc; b) cupru.

La introducerea unei bare de cupru într-o soluție de sulfat de cupru, presiunea osmotică este mai mare decât presiunea de dizolvare și ca urmare ionii de cupru se depun pe bara de cupru, acesta încărcându-se pozitiv, iar soluția negativ. Câmpul electric imprimat are sensul spre metal, iar câmpul electric coulombian spre soluție (fig. 2.11b).

T.e.m. care apar între metale (electrozi) și soluție se numesc **tensiuni de electrod**. Tensiunile de electrod se măsoară în raport cu un electrod de referință, al cărui potențial de electrod se consideră nul. Câmpurile electrice imprimate de contact galvanice vor fi studiate mai pe larg la paragraful 2.8.3.

### 2.5.2.4. Câmpurile electrice imprimate fotovoltaice.

Aceste câmpuri electrice imprimate apar pe suprafața de separație dintre un metal și un semiconductor, la iluminarea acestei suprafețe. Energia fotonilor incidenți este transmisă electronilor. Stratul de separație are proprietăți de

conductibilitate unidirecțională (strat de baraj) și ca urmare electronii vor trece mai ușor într-un sens decât în celălalt. Această asimetrie este echivalentă existenței unor forțe neelectrice medii necompensate în cele două sensuri, adică unui câmp electric imprimat. Pe baza acestui fenomen se realizează fotoelementele utilizate ca surse de energie electrică.

Din analiza câmpurilor electrice imprimate, rezultă că se pot produce t.e.m. în circuitele electrice în trei moduri:

- prin realizarea unei temperaturi neuniforme a unui metal;
- prin introducerea într-un circuit închis a unor conductori de specia a doua (electroliți), în care au loc reacții chimice;
- prin exercitarea unor acțiuni fizice din exterior (radiații luminoase).

## **TEME DE STUDIU**

Test 1.

Ce este regimul electrocinetic ?.

Test 2.

Prin ce se caracterizează regimul static ?.

Test 3.

Prin ce se caracterizează regimul electrocinetic staționar ?.

Test 4.

Prin ce se caracterizează regimul electrocinetic nestaționar ?.

Test 5.

Ce este curentul electric ?.

Test 6.

Care sunt efectele curentului electric ?.

Test 7.

Ce este curentul electric de conductive, dar de convecție ?.

Test 8.

Cum se definesc intensitate și densitatea curentului electric de conducție ?.

Test 9.

Cum se definesc intensitate și densitatea curentului electric de convecție ?.

Test 10.

Prin ce se caracterizează materialele electroconductoare și de câte feluri sunt ?.

Test 11.

Prin ce se caracterizează materialele izolante ?.

Test 12.

Prin ce se caracterizează materialele semiconductoare ?.

Test 13.

Ce sunt câmpurile electrice imprimate ?.

Test 14.

Care sunt câmpurile imprimate de volum și cum apar?.

Test 15.

Cum apare câmpul imprimat de contact voltaic ?.

Test 16

Cum apare câmpul imprimat de contact termoelectric ?.

Test 17.

Cum apare câmpul imprimat de contact galvanic ?.

Test 18.

Cum apare câmpul imprimat de contact fotovoltaic ?.

Test 19.

Ce este și la ce se folosește un termocuplu ?.

Test 20.

Ce este tensiunea electromotoare?.

Test 21.

Ce componente are intensitatea câmpului electric în sens larg?

Test 22 .

Ce componente are intensitatea câmpului electric necoulombian?

Test 23.

Care mărime electrică este mărime primitivă ?:

- intensitatea curentului electric de conducție;
- intensitatea câmpului electric imprimat;
- densitatea curentului electric de conducție.

Test 24.

Care din mărimile de mai jos este o mărime electrică vectorială ?:

- tensiunea electrică;
- tensiunea electromotoare;



- densitatea curentului electric.

Test 25.

Care este unitatea de măsură pentru tensiunea electromotoare ?:

- voltul;
- amperul;
- coulombul.

Test 26.

Care este unitatea de măsură pentru intensitatea curentului electric ?:

- voltul;
- amperul;
- coulombul.

Test 27.

Care este unitatea de măsură pentru densitatea curentului electric ?:

- voltul;
- amperul/m<sup>2</sup>;
- coulombul.

Test 28.

Care este unitatea de măsură pentru intensitatea câmpului electric imprimat ?:

- voltul;
- amperul;
- voltul/m.

Test 29.

Dacă se cunoaște densitatea curentului, intensitatea curentului se determină prin integrarea ei pe:

- o curbă;
- pe o suprafață;
- pe un volum.