

## NOȚIUNI DE ELECTRICITATE ȘI MAGNETISM.

### APLICAȚII MEDICALE ALE CURENȚILOR ELECTRICI ȘI CÂMPURILOR MAGNETICE

Atât în mediul celular cât și cel extracelular sunt prezente o mare varietate de atomi și molecule ionizate, în diferite concentrații ale căror valori sunt menținute constante de procesele metabolice, iar fenomene electrice se desfășoară în toate celulele vii. În țesuturi se pot percepe curenți electrici cu o tensiune de 0,1 mV și cu o durată de 0,1 ms. Curenți electrici foarte slabi sunt generați de activitatea creierului, a retinei.

Pe de altă parte, la ora actuală există numeroase aplicații ale electricității în diagnostic și terapie. Iată câteva motive pentru care este foarte important să înțelegem fenomenele fizice legate de electricitate.

#### Electrostatica

Studiază starea de electrizare și acțiunile reciproce ale corpurilor electrizate.

**Sarcina electrică** (pozitivă și negativă) este o mărime fizică scalară, derivată, a cărei unitate de măsură în S.I. este 1C (Coulomb), constituind o măsură a stării de electrizare a unui corp.

Spunem că sarcina electrică este o mărime cuantificată deoarece ea nu poate fi decât multiplu întreg al unei sarcini elementare. **Sarcina electrică elementară**

este cea mai mică sarcină pusă în evidență până acum prin numeroase experimente; reprezintă sarcina electrică a unui electron și este egală cu  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

#### Principiul conservării sarcinii electrice

Pentru un sistem izolat din punct de vedere electric suma algebrică a sarcinilor electrice ale corpurilor din sistem rămâne constantă.

#### Legea lui Coulomb

Forța de atracție sau de respingere dintre două corpuri punctiforme încărcate cu sarcinile electrice  $q_1$  și  $q_2$ , situate la distanța  $r$  are expresia:

$$\vec{F} = k \frac{|q_1 q_2|}{r^3} \vec{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|q_1 q_2|}{r^3} \vec{r}$$

unde

$\epsilon$  = permitivitate electrică a mediului

$k = 9 \cdot 10^9$  N·m<sup>2</sup>·C<sup>-2</sup> și este strâns legată de viteza luminii în vid =  $10^7$  c<sup>2</sup>. Corpurile electrizate la fel se resping, cele electrizate cu sarcini de semne contrare, se atrag.

#### Câmpul electric

Reprezintă forma de existență a materiei din jurul corpurilor electrizate care se manifestă prin acțiuni asupra corpurilor cu sarcină electrică. Putem spune că într-un punct există un câmp electric dacă

asupra unui corp încărcat plasat în acel punct se exercită o forță de origine electrică.

**Câmpul electrostatic** este câmpul electric constant în timp produs de un corp în repaus, având sarcină electrică. Este caracterizat de o mărime fizică vectorială numită intensitate a câmpului electrostatic, notată cu  $\vec{E}$  care reprezintă valoarea limită a forței pe unitatea de sarcină care acționează asupra unei sarcini de probă  $q'$  aflate într-un punct, atunci când sarcina  $q'$

tinde la zero. 
$$\vec{E} = \lim_{q' \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q'}$$

În realitate, câmpurile electrice sunt produse de sarcini distribuite pe suprafața conductorilor de dimensiuni finite și nu de sarcini punctiforme. Intensitatea câmpului electrostatic creat se calculează imaginându-ne că sarcina fiecărui conductor este împărțită în elemente infinitezimale  $dq$ . 
$$\vec{E} = k \int \frac{rdq}{r^2}$$

Limitele de integrare trebuie fixate astfel încât să fie incluse toate sarcinile care contribuie la câmp.

**Linia de câmp** este linia imaginară trasată astfel încât direcția ei în fiecare punct (direcția tangentei ei) să fie direcția câmpului în acel punct.

O sarcină punctiformă staționară produce în spațiul din jurul ei un câmp electrostatic radial, în timp ce o distribuție superficială de sarcină produce un câmp ale cărui linii

de câmp sunt perpendiculare pe suprafață și paralele. Sensul liniilor de câmp este dat de semnul sarcinii.

**Fluxul liniilor de câmp** printr-o suprafață de arie  $S$  este reprezentat de produsul scalar dintre vectorii  $\vec{E}$  și  $\vec{S}$ :

$$\phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = E \cdot S \cdot \cos \alpha$$

În zonele spațiale în care valoarea fluxului câmpului electric, stabilit prin unitatea de suprafață normală, este mai mare, intensitatea câmpului este mai mare.

### Teorema lui Gauss

Câmpul electrostatic generat de un sistem de corpuri electrizate 1, 2, ..., N care au sarcinile  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_N$ , aflate într-un mediu izolat (cu permitivitate absolută  $\epsilon$ ) determină prin orice suprafață închisă  $\Sigma$  (care cuprinde corpurile de mai sus) fluxul

total: 
$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon} \sum_{k=1}^N q_k$$

### Potențialul electric într-un punct

Este o mărime fizică egală cu raportul dintre lucrul mecanic  $L_{M \rightarrow Ref.}$  efectuat de câmp la deplasarea unui corp de probă încărcat, din acel punct în punctul de referință arbitrar ales, și sarcina  $q$  a aceluia corp.

$$V_M = \frac{L_{M \rightarrow Ref.}}{q}$$

Se poate demonstra că lucrul mecanic efectuat de câmpul electrostatic pentru

transporta o sarcină de probă între două puncte din câmp nu depinde de drumul ales, prin urmare, câmpul electrostatic este un câmp conservativ de forțe (ca și câmpul gravitațional, de exemplu). Unitatea de măsură pentru potențialul electric este 1V (Volt-ul).

**Diferența de potențial electric** dintre două puncte  $M$  și  $N$  sau tensiunea electrică  $U$  dintre ele este o mărime fizică egală cu câțul dintre lucrul mecanic efectuat de câmp la deplasarea unui corp de probă între cele două puncte și sarcina electrică a acelu corp.

$$V_M - V_N = \frac{L_{M \rightarrow N}}{q} = U = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left( \frac{1}{r_M} - \frac{1}{r_N} \right)$$

### Potențialul de difuzie

Să considerăm două compartimente în care se găsește KCl în concentrații diferite ( $c_1 > c_2$ ) între care se poate măsura diferența de potențial electric. Aceste compartimente sunt separate printr-o membrană inegal permeabilă (coeficienții de permeabilitate pentru  $K^+$  și  $Cl^-$  sunt diferiți, considerăm ca permeabilitatea membranei pentru K este mai mare decât pentru Cl, adică  $P_{K^+} > P_{Cl^-}$ ).

Deoarece membrana este permeabilă și concentrația inițială a ionilor în compartimentul al doilea este nulă, conform legilor difuziei, dinspre

compartimentul 1, ionii de  $K^+$  și  $Cl^-$  vor migra către compartimentul 2 cu viteze diferite (mai iute ionii de  $K^+$ ).

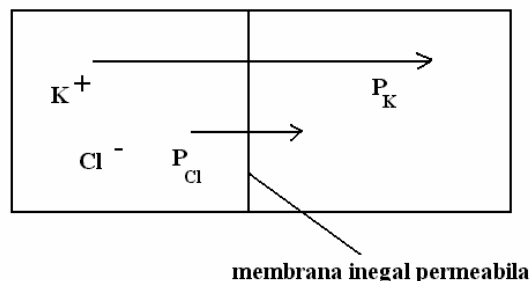


Fig. 1 Exemplificarea potențialului de difuzie

Ca urmare, ionii de  $K^+$  se vor acumula mai rapid în compartimentul 2, încărcându-l pozitiv și producând astfel o diferență de potențial între cele două compartimente. Această diferență de potențial apărută între cele două compartimente se numește **potențial de difuzie**. Deoarece compartimentul 2 este încărcat pozitiv, ionii de  $Cl^-$  vor fi accelerați. Deoarece se va ajunge la o egalizare a concentrațiilor din cele două compartimente, potențialul de difuzie va scădea în timp. Se ajunge în final la o stare staționară. Ecuația Planck-Henderson stabilește expresia potențialului de difuzie:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{P_{Cl^-} - P_{K^+}}{P_{Cl^-} + P_{K^+}} \cdot \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_1}{c_2}$$

În cazul în care  $P_{K^+} = P_{Cl^-}$  potențialul de difuzie este nul ( $\Delta E = 0$ ). Dacă cele două compartimentele sunt separate printr-o membrană selectiv permeabilă, de exemplu impermeabilă pentru  $Cl^-$  ( $P_{Cl^-} = 0$ )

nu pot să difuzeze decât ionii de K. **Relația lui Nernst** stabilește diferența de potențial dintre cele două compartimente la echilibru și are expresia:

$$\Delta E = \frac{RT}{zF} \ln \left[ \frac{[K^+]_1}{[K^+]_2} \right]$$

Prin urmare, compartimentul 2 devine încărcat pozitiv atât de primul și diferența de potențial rămâne constantă imediat ce ionii de K<sup>+</sup> și-au atins echilibrul. Datorită valorilor diferite ale concentrațiilor din cele două compartimente, apare un dezechilibru osmotic, urmat de difuzia apei către compartimentul 1.

### Conductori, izolatori, dielectrici

Un conductor este un material prin care sarcinile electrice se pot deplasa cu ușurință. Valența pozitivă a metalelor ca și faptul că ele formează în soluții ioni pozitivi, arată că atomii unui metal cedează mai ușor unul sau mai mulți dintre electronii lor de valență. Într-un izolator există foarte puțini sau deloc electroni liberi. Un mediu **dielectric** este un mediu în care nu apare curent electric în prezența unui câmp electric extern, dar care își modifică starea sub acțiunea câmpurilor electrice și la rândul lor modifică interacțiunea dintre corpurile cu sarcină electrică. Plasat în câmp electric, dielectricul micșorează intensitatea acestuia.

Moleculele unui dielectric pot fi **polare** și **nepolare**. O moleculă nepolară este o moleculă în care "centrul de greutate" al nucleelor pozitive coincide în mod normal cu cel al electronilor, iar o moleculă polară este o moleculă în care centrele nu coincid.

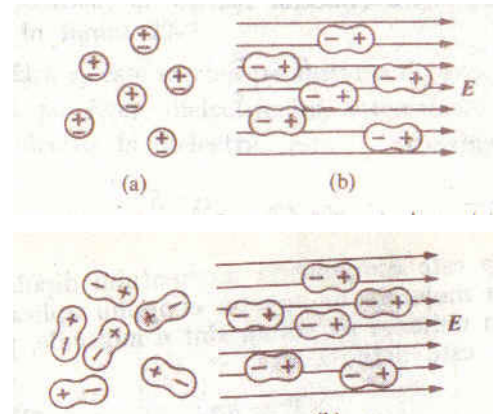


Fig. 2 a) molecule nepolare în câmp electric b) molecule polare în câmp electric

Sub influența unui câmp electric sarcinile unei molecule nepolare (Fig. 2) se polarizează și devin **dipoli induși**. Când o moleculă nepolară se polarizează, asupra sarcinilor încep să acționeze forțe de revenire care tind să le aducă în poziția inițială. Sub influența unui câmp extern dat, sarcinile se îndepărtează una de alta până când forța de revenire devine egală și opusă forței exercitate de câmp asupra sarcinilor. Forțele de revenire variază în mărime de la un tip la altul de molecule, ceea ce corespunde unor diferențe în deplasările produse de un câmp dat. Forțele care acționează asupra unui dipol permanent aflat în câmp electric dau

naștere unui cuplu al cărui efect este orientarea dipolului în aceeași direcție cu câmpul.

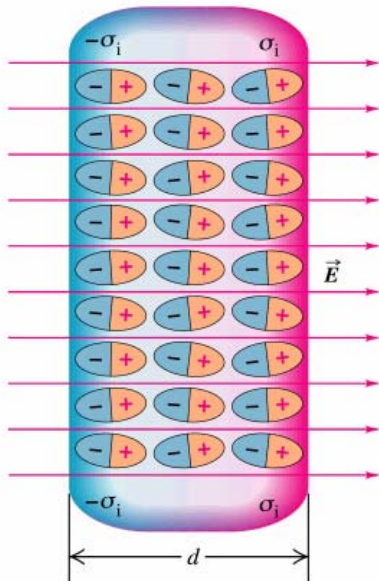


Fig. 3 Polarizarea unui dielectric într-un câmp electric dă naștere pe fețele lui unor straturi subțiri de sarcini legate.

### Capacitate electrică

Experiența arată că diferiți conductori încărcăți cu aceeași sarcină electrică au potențiale diferite. Diferența este dată de o proprietate fizică a acestora numită capacitate electrică. Capacitatea electrică a unui conductor depinde și de poziția corpurilor din jur, de aceea, în continuare, vom lua în considerare doar corpuri izolate. Dacă sarcina de pe corp este  $Q$ , iar potențialul acestuia  $V$ , raportul dintre cele două:

$$\frac{Q}{V} = C$$

este constant și egal cu valoarea capacității  $C$ . Unitatea de măsură a

capacității electrice este Farad-ul (F).

$$1F = \frac{1C}{1V}$$

Două plăci conductoare paralele între care se află un mediu dielectric formează un condensator plan. Capacitatea condensatorului plan este:

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

unde  $\epsilon$  reprezintă permeabilitatea electrică a mediului dintre armături

-  $S$  suprafața comună a armăturilor

-  $d$  distanța dintre armături

La nivel membranal, **capacitatea electrică reflectă proprietatea membranei de a menține o încărcare electrică de semne contrare pe cele două fețe ale ei.**

### Gruparea condensatoarelor

A determina capacitatea echivalentă a două sau mai multor condensatoare conectate într-un circuit înseamnă a determina capacitatea unui condensator care, plasat în circuit în locul condensatoarelor, nu modifică valorile mărimilor electrice din circuit (căderi de tensiune, distribuția sarcinii).

### Gruparea serie a condensatoarelor

Două condensatoare sunt conectate în serie dacă au o bornă comună (B din Fig. 4).

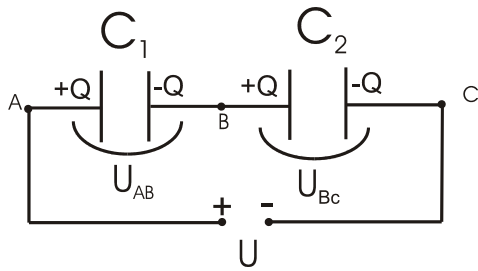


Fig. 4 Condensatoare în serie

Grupate astfel, pe armăturile celor două condensatoare, sarcina este aceeași  $Q$ , iar suma căderilor de tensiune  $U_{AB}$  și  $U_{BC}$  este egală cu tensiunea de la bornele circuitului:

$$U = U_{AB} + U_{BC} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = \frac{Q}{C_{echiv}}$$

Se obține expresia capacității echivalente a celor două condensatoare conectate

serie: 
$$\frac{1}{C_{echiv.}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad C_{echiv.} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Generalizând pentru  $n$  condensatoare montate în serie, se obține:

$$\frac{1}{C_{echiv.s}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$

**Gruparea paralel a condensatoarelor**

Două condensatoare sunt conectate în paralel dacă au ambele borne comune (bornele A și B în Fig. 5).

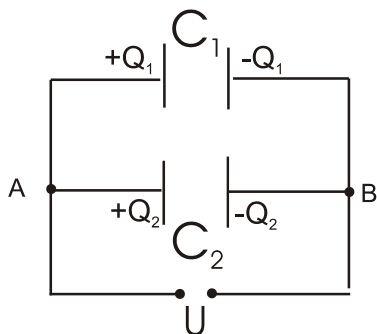


Fig. 5 Condensatoare în paralel

În acest caz, căderea de tensiune pe cele două condensatoare este aceeași, prin urmare putem scrie:

$$U_{AB} = U_1 = U_2$$

Dar sarcina  $Q$  de la borna A se va divide în  $Q_1$  și  $Q_2$  pe armăturile celor două condensatoare:

$$Q = C_{echiv.p} \cdot U = Q_1 + Q_2 = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U$$

$$C_{echiv.p} = C_1 + C_2$$

și generalizând pentru  $n$  condensatoare montate în paralel, obținem pentru capacitatea echivalentă expresia:

$$C_{echiv.p} = \sum_{i=1}^n C_i$$

**Electrocinetica. Curentul electric staționar**

Mișcarea dirijată a sarcinilor electrice reprezintă curent electric.

**Intensitatea curentului electric  $I$**  care străbate o suprafață este definită prin sarcina totală care trece prin acea suprafață în unitatea de timp:  $I = \frac{dQ}{dt}$ . Se

măsoară în Amperi (1 A).

**Sursă de energie**

Este un acumulator sau un generator care poate furniza energie unui circuit electric. Pentru menținerea constantă a intensității curentului electric într-un segment de circuit trebuie ca tensiunea pe acel circuit să rămână

aceeași tot timpul. Această condiție se realizează când circuitul dispune de o sursă de energie care să efectueze lucrul mecanic necesar deplasării cu viteză constantă a purtătorilor de sarcină electrică. Această sursă de energie este generatorul electric.

Tensiunea electromotoare **este numeric egală cu lucrul mecanic efectuat pentru a transporta unitatea de sarcină pozitivă de-a lungul întregului circuit.**

**Rezistența electrică  $R$**  a unui element de circuit măsoară opunerea elementului la trecerea curentului electric și stabilește proporționalitatea dintre căderea de tensiune la bornele aceluia element de circuit  $U$  și valoarea intensității curentului electric care-l străbate  $I$  ( $U = RI$ ). Ea este o mărime fizică ce caracterizează elementul de circuit și depinde de caracteristicile geometrice ale acestuia precum și de materialul din care acesta

este făcut, astfel:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

unde  $\rho$  reprezintă rezistivitatea electrică a materialului,  $l$  este lungimea rezistenței, iar  $S$  reprezintă aria secțiunii transversale a rezistenței. Unitatea de măsură a rezistenței electrice este Ohm-ul ( $1 \Omega$  - litera grecească *omega*)

Rezistivitatea tuturor conductoarelor metalice crește cu creșterea temperaturii,

pentru un interval de temperaturi nu foarte larg, variind astfel:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

unde  $\rho_0$  este rezistivitatea la temperatura de referință  $T_0$ , iar  $\rho$  la temperatura  $T$ . Coeficientul  $\alpha$  se numește coeficient termic al rezistivității, având ca unitate de măsură  $\text{grad}^{-1}$ .

### Gruparea serie a rezistorilor

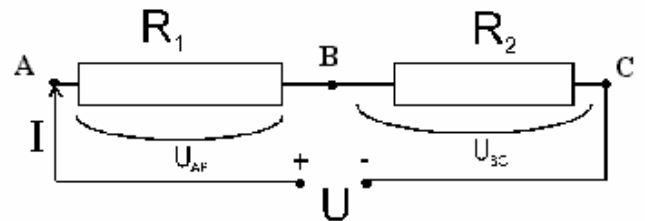


Fig. 6 Rezistori în serie

La gruparea în serie a doi rezistori având rezistențele ohmice  $R_1$  și  $R_2$ , conform Fig. 6, intensitatea  $I$  a curentului care îi străbate este aceeași, iar suma căderilor de tensiune  $U_{AB}$  și  $U_{BC}$  este egală cu tensiunea la bornele circuitului  $U$ :

$$U = U_{AB} + U_{BC} = U_1 + U_2 = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I = I(R_1 + R_2) = R_{echiv.s} \cdot I$$

$$R_{echiv.s} = R_1 + R_2$$

Generalizând relația de mai sus pentru  $n$  rezistori conectați în serie, se obține următoarea expresie pentru rezistența echivalentă a grupării serie

$R_{echiv.s}$ :

$$R_{echiv.s} = \sum_{i=1}^n R_i$$

### Gruparea paralel a rezistorilor

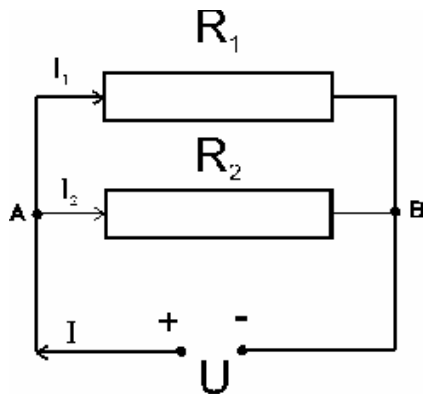


Fig. 7 Gruparea paralel a rezistorilor

Dacă doi rezistori sunt conectați în paralel (Fig. 7) atunci au ambele borne comune, iar intensitatea curentului din circuit  $I$  se va divide în nodul A (din Fig. 7) în  $I_1$  și  $I_2$ . Căderea de tensiune la bornele celor doi rezistori fiind aceeași, putem scrie:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} = U_{AB} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{U_{AB}}{R_{echiv.p}}$$

Rezultă că pentru cei doi rezistori, rezistența echivalentă este dată de:

$$\frac{1}{R_{echiv.p}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{adică: } R_{echiv.p} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Pentru  $n$  rezistori conectați în paralel, rezistența echivalentă  $R_{echiv.p}$  se poate calcula din formula:

$$\frac{1}{R_{echiv.p}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

### Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit

Arată că raportul dintre căderea de tensiune  $U$  la capetele unui conductor străbătut de curentul de intensitate  $I$  are o valoare constantă, egală cu rezistența  $R$  a conductorului

$$\frac{U}{I} = R$$

### Legea lui Ohm pentru un circuit simplu

Intensitatea curentului printr-un circuit este direct proporțională cu tensiunea electromotoare din circuit și invers proporțională cu rezistența totală a circuitului.

$$I = \frac{E}{R + r}$$

### Legile lui Kirchhoff

1. Suma algebrică a intensităților curentilor electrici care se întâlnesc într-un nod de rețea este egală cu zero.
2. De-a lungul conturului unui ochi de rețea suma algebrică a tensiunilor electromotoare este egală cu suma algebrică a căderilor de tensiune pe elementele aceluși ochi de rețea.

### Gruparea serie și paralel a surselor

În cazul în care se conectează în serie două sau mai multe surse de curent continuu (Fig. 8) se poate demonstra că tensiunea electromotoare echivalentă are expresia:

$$E_{ech. serie} = E_1 \pm E_2 \pm \dots \pm E_N$$



În timp ce, rezistența ohmică a grupării de surse este chiar rezistența echivalentă a n rezistori grupați în serie:

$$r_{ech. serie} = r_1 + r_2 + \dots + r_N$$

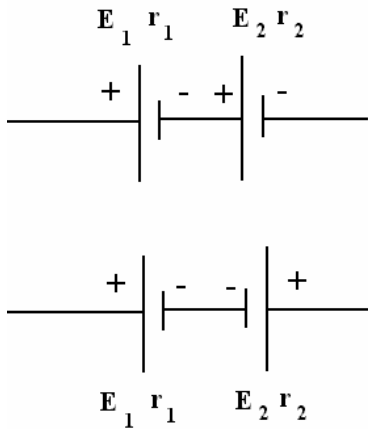


Fig. 8 Gruparea serie a surselor de t.e.m.

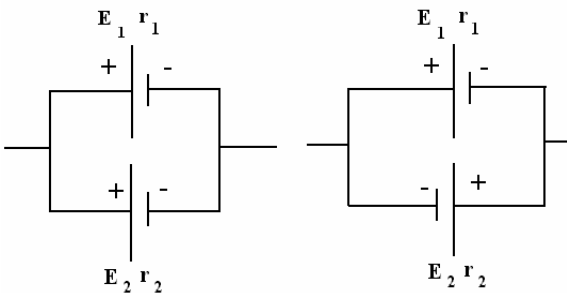


Fig. 9 Gruparea paralel a surselor de t.e.m.

Dacă gruparea surselor se face în paralel (Fig. 9), expresiile de calcul ale tensiunii electromotoare echivalente, respectiv rezistenței echivalente a grupării rezultante sunt:

$$\frac{E_{ech. paralel}}{r_{ech. paralel}} = \frac{E_1}{r_1} \pm \frac{E_2}{r_2} \pm \dots \pm \frac{E_N}{r_N}$$

$$\frac{1}{r_{ech. paralel}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_N}$$

### Instrumente de măsură a curentului electric și a potențialului

Instrumentul care se utilizează pentru a determina valoarea intensității

curentului electric dintr-o ramură de circuit se numește *ampermetru* și se montează în serie cu restul elementelor conținute în acea ramură de circuit.

Valoarea măsurată a intensității curentului electric este diferită de valoarea intensității curentului electric prin circuitul respectiv în lipsa ampermetrului, deoarece și acesta are o rezistență internă, care trebuie să fie foarte mică. Un ampermetru ideal are rezistența ohmică.

În cazul în care ampermetrul aflat la dispoziție poate măsura curenți maximi mai mici decât cei presupuși în circuit, scala de măsură a acestuia poate fi lărgită prin montarea unei rezistențe suplimentare, în paralel cu ampermetrul, numită șunt. Șuntul preia o parte din curentul din circuit, protejând astfel, ampermetrul.

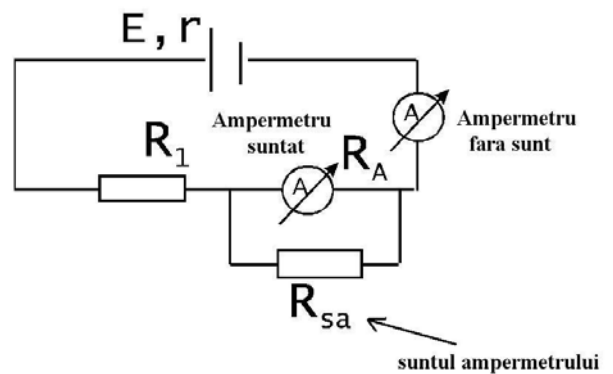


Fig. 10 Montarea șuntului ampermetrului

Valoarea rezistenței șuntului pentru ca ampermetrul să măsoare o intensitate de n ori mai mare decât cea permisă este

$$R_{sunt\ ampermetru} = \frac{R_A}{n - 1}$$

Voltmetrul servește la măsurarea căderii de tensiune pe un element de circuit. Se montează în paralel cu elementul la bornele căruia dorim să măsurăm căderea de tensiune. Valoarea măsurată a căderii de tensiune la bornele elementului de circuit este diferită de cea calculată teoretic, în absența voltmetrului, deoarece și prin acesta trece o parte din curentul din circuit, motiv pentru care rezistența voltmetrului trebuie să fie foarte mare, practic infinită. În cazul în care scara de măsură a voltmetrului nu permite măsurarea unei tensiuni foarte mari se montează o rezistență adițională în serie cu voltmetrul (se preia astfel o parte din căderea de tensiune de pe voltmetru, protejându-l).

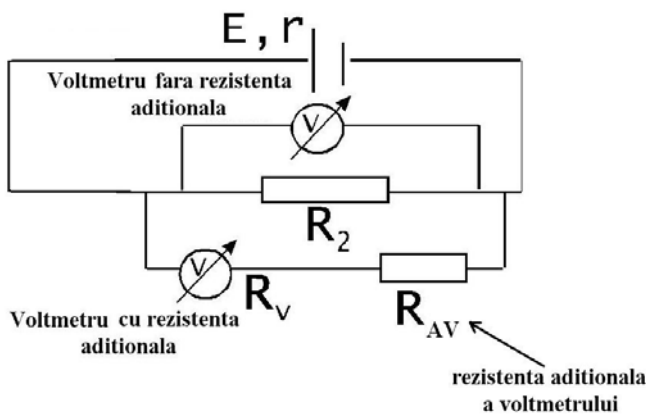


Fig. 11 Montarea rezistenței adiționale a voltmetrului

Valoarea rezistenței adiționale pentru ca voltmetrul să măsoare o cădere de tensiune de  $n$  ori mai mare decât cea permisă este

$$R_{\text{Sum}}^{\text{voltmetru}} = R_V (n - 1)$$

### Modelul electric al membranei celulare

Din punct de vedere electric, o celulă împreună cu mediul ei extracelular pot fi comparate cu o rețea electrică alcătuită din condensatoare, rezistoare și surse de tensiune electromotoare (Fig. 12).

- lichidul intracelular și cel extracelular pot fi considerate bornele unei surse de tensiune electromotoare formată din trei baterii de c.c. grupate în paralel (baterii de Na, K și Cl ale căror t.e.m. se calculează cu relația lui Nernst)
- lichidul extracelular și intracelular pot fi considerate armăturile unui condensator al cărui dielectric este membrana celulară
- canalele de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  și  $\text{Cl}^-$  reprezintă rezistori electrici care se opun trecerii ionilor corespunzători
- lichidul intracelular și extracelular pot fi considerate rezistențe electrice ale căror valori depind de rezistivitatea electrică a lichidelor precum și de lungimea și aria transversală a secțiunilor reprezentate de celulă și de spațiile extracelulare.

Aceste elemente de circuit au valori variabile în timp.

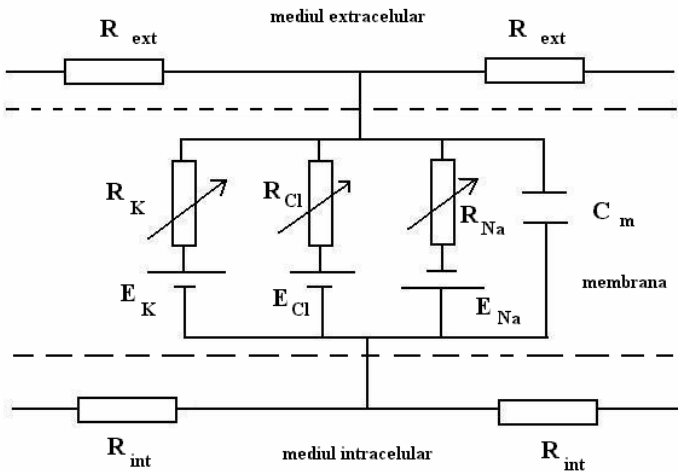


Fig. 12 Modelul electric al membranei celulare

### Câmpul magnetic al curenților

În spațiul din jurul sarcinilor electrice apare un câmp electrostatic ce se manifestă prin acțiuni asupra altor corpuri cu sarcină electrică.



Fig. 13 Regula burghiului (a mâinii drepte) folosită pentru stabilirea sensului liniilor de câmp magnetic ce se stabilește în jurul unui conductor străbătut de curent electric continuu; inducția magnetică  $\vec{B}$  are același sens cu liniile de câmp și este tangentă la acestea

În mod similar, în spațiul din jurul unui conductor străbătut de curent electric apare un așa numit *câmp magnetic* care

constituie, de asemenea, o formă de existență a materiei. Câmpul magnetic este continuu, vectorial, mărimea și direcția sa în orice punct fiind date de inducția magnetică  $\vec{B}$  (unitate de măsură 1 Tesla, 1 T) (Fig. 13).

Câmpul magnetic poate fi produs atât de substanțele magnetizate cât și de curenții din conductoare (electromagneți). Orice magnet are doi poli (Fig. 14), unul negativ și celălalt pozitiv, un singur pol magnetic izolat nefiind niciodată descoperit.

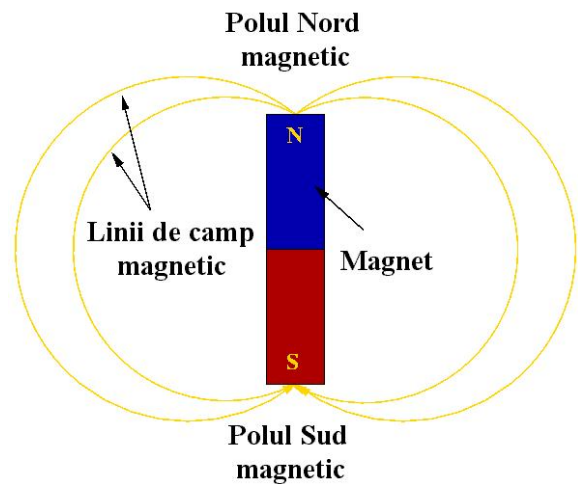


Fig. 14 Polii unui magnet: convențional liniile de câmp magnetic ies din polul nord și intră în polul sud

Asupra unui conductor străbătut de curent continuu, aflat într-un câmp magnetic extern se exercită o forță a cărei mărime depinde de sensul curentului electric  $I$ , de sensul și orientarea câmpului magnetic  $\vec{B}$ , precum și de lungimea conductorului  $l$ . Această forță, numită forță electromagnetică ( $F$  din Fig. 15), este

rezultatul interacțiunii dintre curentul electric și câmpul magnetic și are expresia:

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

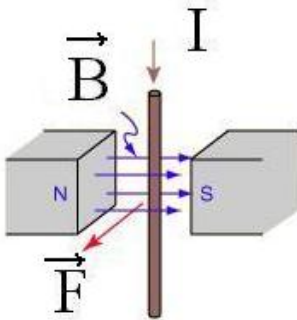


Fig. 15 Sensul forței electromagnetice  $\vec{F}$  ce se exercită asupra unui conductor străbătut de curent electric aflat în câmp magnetic exterior de inducție

$\vec{B}$

Fluxul magnetic  $\Phi$  (Fig. 16) care traversează o suprafață S intersectată de linii de câmp magnetic se definește ca fiind produsul scalar dintre inducția magnetică și suprafața normală.

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Unitatea de măsură pentru fluxul magnetic este Weber-ul.

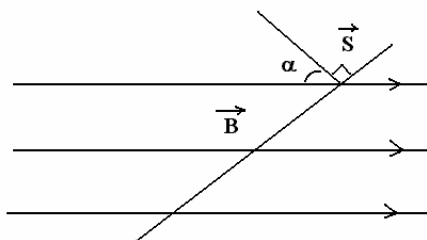


Fig. 16 Suprafață străbătută de linii de câmp magnetic

Într-un cadru metalic străbătut de flux magnetic variabil în timp apar un curent electric indus și respectiv, o tensiune electromotoare (t.e.m.) indusă a

cărei expresie este dată de legea lui

Faraday: 
$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Conform acestei expresii tensiunea electromotoare indusă în circuit este numeric egală cu viteza de variație a fluxului magnetic prin acesta. Fenomenul de apariție a t.e.m. induse se numește inducție electromagnetică. Curentul indus are un astfel de sens încât câmpul său magnetic să se opună variației câmpului magnetic inductor (legea lui Lenz).

### Curentul alternativ

Dacă între poli unui magnet permanent un cadru metalic se rotește cu viteză unghiulară constantă  $\omega$ , acul ampermetrului montat pe una dintre laturile cadrului va devia (Fig. 17). Intensitatea curentului citită pe cadranul ampermetrului nu va fi constantă și periodic își va schimba sensul (Fig. 18).

Curentul apărut în urma inducției magnetice, în condițiile descrise se numește curent alternativ sinusoidal, iar legea de variație în timp a intensității curentului electric este:

$$i(t) = I_0 \sin \omega t$$

unde  $i(t)$  este valoarea instantanee,  $I_0$  este amplitudinea maximă a curentului electric,  $\omega$  este pulsația. Între pulsație și frecvența curentului electric alternativ există relația:

$$\omega = 2\pi\nu$$

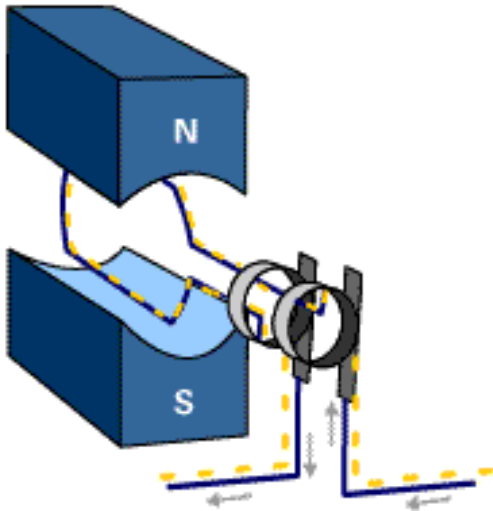


Fig. 17 Producerea curentului alternativ sinusoidal în cadrul metalic ce se rotește cu o viteză unghiulară constantă într-un câmp magnetic constant (polii magnetului)

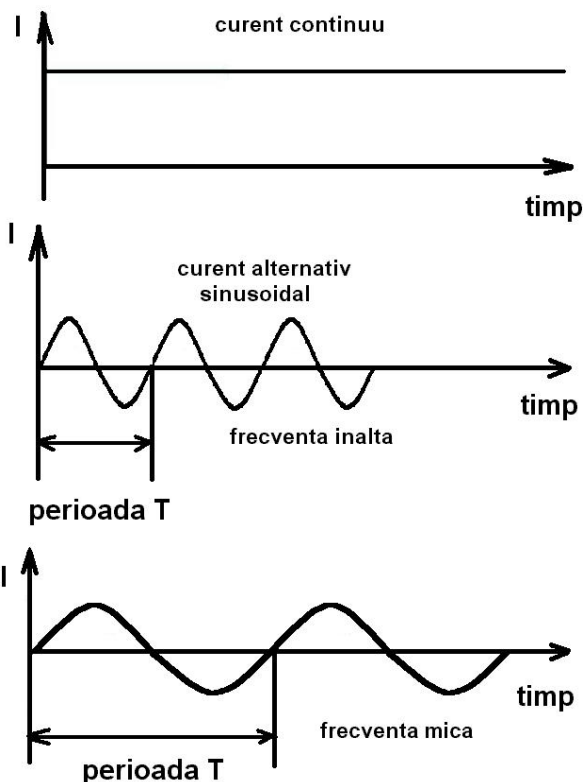


Fig. 18 Reprezentarea grafică a curentului continuu și a curentului alternativ cu frecvențe diferite

## Electrogenza biologică

O serie de organisme și organe sunt capabile să producă electricitate, evident nu în sensul unei cantități de curent electric ce poate fi folosit în practică. Există o serie de plante și de animale care au organe specializate, ce produc curent electric biologic (de exemplu, peștii electrici din familia silurienilor, care provoacă la atingere zguduiri violente).

În organismul uman, modificările care au loc într-un țesut pot da naștere unui curent electric. Dintre aceste modificări cea mai frecventă este contracția musculară, curenții produși fiind de repaus și de acțiune.

Curenții de repaus se pot pune în evidență prin aplicarea unuia dintre cei doi electrozi nepolarizabili conectați într-un circuit electric ce conține și un galvanometru sensibil, pe o leziune a mușchiului. Se constată o deviație a acului galvanometrului, electrozul așezat pe leziune comportându-se ca un pol negativ. Diferența maximă de potențial se obține dacă așezăm un electrod la mijlocul suprafeței laterale a mușchiului, iar celălalt, în mijlocul leziunii.

Curenții de acțiune apar la excitarea electrică, mecanică, chimică sau fiziologică a mușchiului sau a nervului. Și în cazul acesta, polul negativ este electrodul cel mai apropiat de regiunea în care se

produce excitația. Prin suprapunerea polului pozitiv al curentului de repaus peste polul negativ al curentului de acțiune, se constată o slăbire a curentului de repaus măsurat inițial (variația negativă a curentului de repaus).

Fenomene electrice întâlnim peste tot în organism: în scoarța cerebrală a cărei activitate electrică se materializează prin înregistrarea electroencefalogramii. În diferite sectoare ale sistemului nervos central se produc oscilații electrice spontane, cu frecvențe și amplitudine diferite, nedeterminate de acțiunea unor excitații exterioare. Activitatea electrică a scoarței variază cu diferitele stări funcționale (aparitia excitației în scoarță se observă la om în accesele epileptice).

### **Aplicații medicale ale curenților electrici**

În aplicațiile medicale, electricitatea se utilizează sub următoarele forme :

- electricitate statică sau **franklinizare**
- curent electric continuu sau **galvanizare**
- curent electric alternativ sau **faradizare**
- curent electric în **impulsuri**

### **Electricitatea statică**

**Masina electrostatică medicală Wimshurst** (Fig. 19) este un generator electrostatic clasic capabil să producă potențiale electrostatice înalte. Este

formată din două discuri acrilice mari pe care sunt lipite foite de staniol, care se rotesc în sens opus în plan vertical și un spațiu pentru scânteie între două sfere metalice. În timpul rotației, discurile sunt frecate de două perechi de periute așezate diametral, fiecare pereche fiind situată față de orizontală la un unghi de 45 de grade. Cei doi conductori în forma de U așezați de o parte și de alta pe diametrul orizontal sunt prevăzuți cu vârfuri ascuțite și fiecare este legat la armătura interioară a unui conductor cilindric (numit element Leyden), și la un pol al mașinii. Sarcinile electrice produse sunt culese de vârfurile conductorilor și acumulate de elementele Leyden care se încarcă cu sarcini electrice de semn contrar, mașina având, în consecință, un pol pozitiv și unul negativ între care se creează o diferență de câteva zeci de mii de volți. Scânteia produsă prin frecare între cele două capete polare ale mașinii ajunge la o lungime de până la 15 cm, în funcție de tensiunea maximă care se stabilește între poli în timpul funcționării mașinii electrostatice. Mașina medicală electrostatică își păstrează o polaritate constantă în timpul funcționării.

În funcție de efectele urmărite, electricitatea statică (franklinizarea) se poate aplica astfel:

**1. Baia electrostatică** este indicată în hipotensiune arterială, insomnie, astenie, fiind un tonic general și un sedativ al

sistemului nervos; intensifică arderile în organism, deoarece produce o ozonizare a aerului (ozonul este un excitant energetic al hematozei). O ședință durează aproximativ 15 minute, timp în care pacientul este plasat pe un scaun aflat pe o bază izolată din punct de vedere electric. Pacientul este conectat la polul negativ al mașinii, celălalt pol al acesteia fiind împământat, iar potențialul la care este adus pacientul este de câteva mii de volți. Electricitatea cu care se încarcă pacientul se pierde continuu prin asperitățile corpului.



Fig. 19 Masina electrostatica Wimshurst

**2. Efluviile electrice** sunt sedative și calmante și se întrebunțează în tratarea plagilor atone, în diferite acțiuni cutanate (cum ar fi eczeme, prurit). În cazul acestei ședințe, pacientul nu este conectat direct la un pol al mașinii, ci în dreptul regiunii ce urmează a fi tratate se plasează la o distanță determinată un electrod de metal cu vârf ascuțit împământat.

**3. Dușul electric** este similar, atât din punct de vedere al plicației, cât și din cel al efectelor cu efluviile electrice, doar ca în acest caz, în locul electrodului metalic se așează un disc de lemn cu mai multe vârfuri de la care pornesc sarcini electrice.

**4. Scânteia directă** se poate aplica apropiind de pacient electrodul legat de un pol al mașinii electrostatice, pacientul fiind plasat în fața acesteia la fel ca în cazul băii electrostatice; între pacient și electrod se produc scântei cu acțiune locală. Supunând zona de tratat unei serii de scântei apare la început o vasoconstricție periferică, pielea devine palidă, urmată de vasodilatație, pielea prezentând hiperemie. Pe această cale se distrug epitelioame cutanate, negi.

**Curenții Morton** reprezintă un alt mod de administrare a electricității statice și produc contracții musculare puternice și nedureroase, folosite mai ales pentru acțiunea asupra mușchilor netezi ai organelor interne (în cazuri de atonie asupra mușchilor stomacului, de exemplu).

**Curentul continuu** de joasă tensiune, generat de baterii, acumulatori sau redresori de curent alternativ, se aplică țesuturilor prin intermediul a doi electrozi, numiți anod și catod. Utilizând electrozi inatacabili, insolubili, de platina, nichel sau cărbune, se fac aplicații ale electrolizei medicale.

Electroliza biologică se poate face prin aplicație monopolară, când se folosesc efectele electrolitice produse la un singur electrod, numit electrod activ, sau prin aplicație bipolară, ambii electrozi fiind activi.

Electroliza medicală se face monopolar sau bipolar, curentul circulând prin țesuturi nu numai de-a lungul liniei drepte ce unește electrozii, ci și prin regiuni aflate în afara acestei linii, dispersându-se sub formă de curenți din ce în ce mai slabi. Curenții se numesc **electrotonici**: **anelectrotonici** (micșorează excitabilitatea țesuturilor) în vecinătatea anodului, **catelectrotonici** (măresc excitabilitatea țesuturilor), în vecinătatea catodului.

La intensități mari ale curentului electric continuu, pot apărea escare negative cenușii în zona de contact a tegumentului cu catodul și escare pozitive brune la anod, în urma electrolizei ce are loc în țesuturi care sunt mici electrolizori în care se produce electroliza soluțiilor biologice. Efectele sunt folosite pentru distrugerea pe cale galvanocaustică a unor tumori. Se folosesc drept electrod negativ ace de aur, de platină sau de oțel, intensitatea curentului ajungând până la 15 – 20 mA, durata de aplicație variind între 30 – 120 s.

Folosind electrodul activ drept anod, se pot trata hemoragiile uterine care sunt

oprite de acțiunea hemostatică a reacției secundare produsă la polul pozitiv.

În afara fenomenelor care apar la electrozi în timpul electrolizei biologice, curentul electric aplicat un timp îndelungat poate să provoace și electroliza interstițială manifestată prin leziuni vizibile la microscop.

Tot în cadrul electrolizei medicale, se pot folosi electrozi solubili care sunt atacați de substanțele depuse la electrozi, substanțele noi obținute având proprietăți terapeutice speciale. Folosind un anod de fier, ionul clor eliberat sub formă de atom la anod, formează clorura ferică ce are acțiune coagulantă. O altă aplicație a electrolizei medicale cu electrozi solubili constă în tratarea anevrismelor cu anozii solubili de fier care provoacă formarea unui cheag ce umple complet sacul anevrismal.

Curentul continuu de mică intensitate se folosește în cadrul **ionoterapiei** pentru introducerea în organism, prin piele și prin mucoase, a unor ioni medicamentoși (iod, salicilat etc.), fenomen numit **ionoforeză**. Astfel introduși, ionii se elimină mai lent decât în cazul injecțiilor subcutanate, prelungind astfel timpul de exercitare a efectelor lor terapeutice. Pentru introducerea ionilor metalici, se îmbibă cu soluția medicamentoasă un electrod activ care se leagă la polul pozitiv al generatorului de



curent continuu. Intensitatea curentului va fi de 20 – 100 mA, durata aplicației fiind de 30 până la 60 de minute. Deoarece ionii medicamentoși introduși prin piele acționează local, ionoterapia electrică se folosește cu precădere în afecțiunile dermatologice. Ionoterapia electrică poate fi folosită și în cazul tratamentului reumatismului articular subacut, prin introducerea prin ionoforeză a ionului salicilat, precum și pentru ameliorarea artritelor cronice prin ionoterapia cu iod și calciu. În stomatologie, ionoforeza cu novocaină produce o bună anestezie locală.

Curentul continuu se folosește și la **defibrilarea** cardiacă, metodă folosită în cazul stopului cardiac.

**Curenții alternativi de joasă frecvență** (50-100 Hz) produc modificări circulatorii locale, senzații dureroase, contracții musculare precum și o încălzire locală. Curentul alternativ de joasă frecvență poate produce moartea prin electrocutare la o intensitate de patru ori mai mică decât cea la care produce electrocutarea mortală un curent continuu, în condiții identice. Curenții alternativi de frecvențe înalte nu produc electrocutare.

**Curenții alternativi de înaltă frecvență** nu produc excitații. Efectele lor principale sunt cele termice iar aplicarea lor în medicină poartă numele de **diatermie**. Efectul curenților de înaltă

frecvență poate fi folosit și pentru distrugerea unor tumori prin diatermocoagulare, ca și pentru tăierea țesuturilor (bisturiu electric), precum și în electrofiziologia intervențională.

**Curentul electric sub formă de impulsuri** poate produce efecte biologice diverse în funcție de forma, durata, amplitudinea și frecvența impulsurilor: stimulare, contracții musculare, durere, sedare, anestezie, somn. Impulsurile de durată mare se supun **legilor lui Pflüger** conform cărora, la închiderea circuitului electric, excitarea nervilor și a mușchilor se produce la catod iar la deschiderea circuitului, excitarea se produce la anod. Aplicate la nivelul capului, impulsurile pot produce sedare, electrosomn, electronarcoză sau electroșoc (în aceleași scopuri se folosesc și curenții alternativi de joasă frecvență).

Electroterapia constă în folosirea impulsurilor electrice pentru înlăturarea simptomelor de durere, slăbiciune a mușchilor și depresiei, reprezentând una dintre cele mai sigure și eficiente metode de tratament deoarece are foarte puține efecte secundare. Curentul, pulsatoriu de cele mai multe ori, administrat pacientului provoacă contracția urmată de relaxarea mușchiului, stimulările repetitive ducând la întărirea acestuia și îndepărtarea durerii. Stimularea electroterapeutică a mușchilor reprezintă un tratament eficient al durerilor

cronice și al oboselii asociate cu fibromialgia (sindrom de durere cronică ce este caracterizată prin durere difuză, sensibilitate excesivă în mușchi și țesutul moale, puncte sensibile localizate și tulburări de somn, slăbiciune).

Procedeele electroterapeutice sunt extrem de numeroase și variate, un loc deosebit în rândul lor fiind ocupat de stimulatoarele electrice, cu întrebuințări multiple (defibrilatoare, stimulatoare cardiace, aparate de electroanestezie, aparate pentru electroșocuri etc.). Electroterapia poate fi comparată cu un masaj profund al țesuturilor, efectele ei sunt cumulative.

### **Utilizarea magneților în practica medicală**

Magneții și electromagneții sunt larg întrebuințați în aparatele de laborator, în electrofiziologie și terapeutică. În medicină, sunt utilizați pentru localizarea și extragerea corpurilor feromagnetice intrate accidental în organism (de exemplu, în ochi).

*Sideroscopul* este un aparat format dintr-un sistem de ace magnetice, coaxiale, așezate rigid unul față de altul, cu polii de semn contrar față în față pentru a nu se simți influența câmpului magnetic terestru (sistem astatic). Aparatul este adus cu acul inferior al sistemului astatic în apropierea ochiului în care se presupune

că au intrat așchiile de fier, acul magnetic fiind deviat de particula de fier, cu atât mai mult cu cât este mai aproape de acesta. Astfel se poziționează corpul străin. Pentru extragerea corpurilor feromagnetice străine intrate în diferite regiuni ale corpului se construiesc aparate magnetice mai puternice.

De exemplu, dacă particula de fier a intrat în camera anterioară a ochiului, extracția se poate face cu un electromagnet format dintr-un miez cilindric de fier moale situat în interiorul conductorului prin care circulă curentul electric. La un capăt electromagnetul are formă ascuțită, acest capăt apropiindu-se de ochi în dreptul deschiderii produse de corpul străin, particula străină fiind atrasă de magnet și extrasă din ochi.

Electromagnetoterapia se utilizează în tratamentul diferitelor forme de durere fizică și emoțională. Cu ajutorul unor dispozitive electromagnetice se poate interveni pentru diminuarea durerii, pentru grăbirea vindecării fracturilor, pentru eliberarea stresului. Datorită faptului că membrana celulară este străbătută de curenți ionici, apar câmpuri magnetice în jurul acestora, care, însumate, formează un câmp magnetic, de joasă intensitate, produs de organism.