

Electromagnetismul

Se ocupă de studiul fenomenelor legate de:

1) **Electricitate**

(electrostatica și curent electric)

2) **Magnetism**

(câmp magnetic și inducție electromagnetică)

E. Electricitate

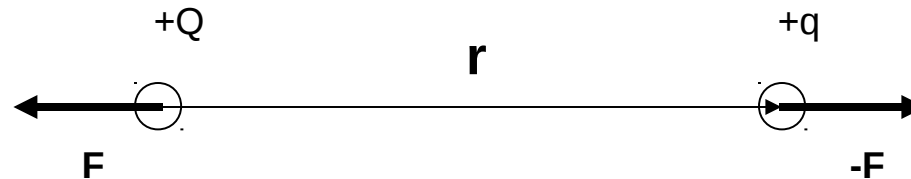
- E.1. Sarcini electrice
- E.2. Intensitatea câmpului electric
- E.3. Tensiunea electrică
- E.4. Curentul electric continuu
- E.5. Unități de măsură pentru sarcina și tensiune
- E.6. Condensatorul electric. Capacitatea.
- E.7. Legea lui Ohm.
- E.8. Energia și puterea curentului continuu

E.1. Sarcini electrice

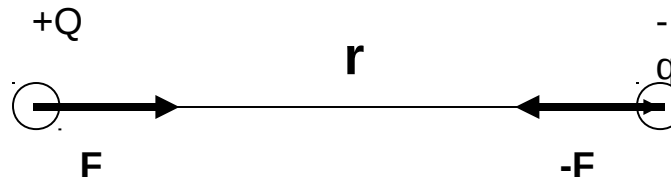
În natură există două tipuri de sarcini electrice.

În atom electronii au sarcini negative în timp ce protonii din nucleu au sarcini pozitive.

Forța exercitată între două sarcini electrice este:
respingere pentru sarcini de același semn (+ + sau - -)



și atracție pentru sarcini de semne diferite (+ -)



E.2. Intensitatea câmpului electric

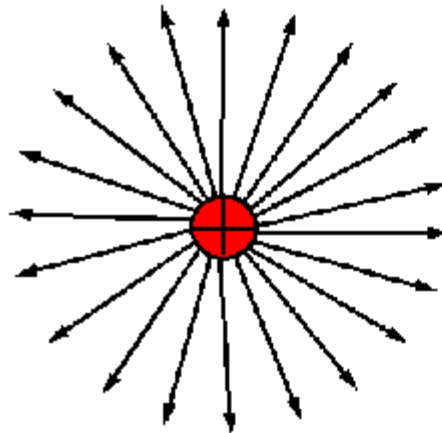
este un vector definit de raportul dintre forța electrostatică
și sarcina asupra căreia acționează

$$E = \frac{F}{q}$$

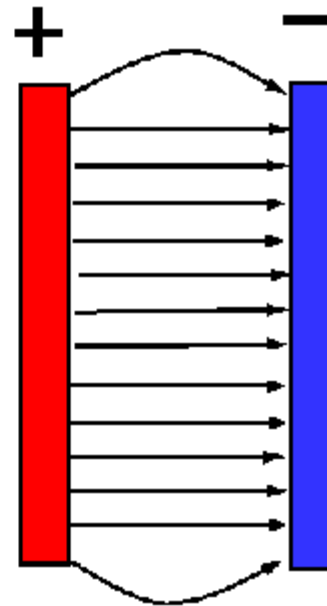
Liniile de câmp

descriu distribuția spațială a câmpului electrostatic fiind tangente la vectorul intensității câmpului electric

- A : liniile câmpului electric ale unei sarcini punctuale pozitive sunt date de direcția forței între sarcina Q din centru și sarcina $q=+1$ plasată într-un punct din spațiu
- B : liniile câmpului electric între plăcile unui condensator plan sunt paralele. Forța asupra unei sarcini electrice este constantă între plăcile unui condensator



A



B

E.3. Tensiunea electrică

este lucrul mecanic al sarcinii q ,
care se mișcă între două puncte pe distanța x ,
împărțit la valoarea sarcinii

$$U_{12} = \frac{L_{12}}{q} = \frac{Fx}{q} = Ex$$

unde am considerat ca forța este constantă
(ca între plăcile unui condensator)

E.4. Curentul electric continuu

este mișcarea sarcinilor electrice ale electronilor liberi dintr-un material conductor.

Sensul convențional este dat de mișcarea sarcinilor pozitive, adică este invers sensului de mișcare al electronilor.

Intensitatea curentului electric (a nu se confunda cu intensitatea câmpului!)

este raportul dintre sarcina care circulă într-un conductor și timp

$$I = \frac{q}{t}$$

E.5. Unități de măsură în SI

Unitatea pentru sarcina electrică

$[q] = [I] [t] = \text{A.s (amper.secunda)} = \text{C (coulomb)}$

Amperul se definește prin forța câmpului magnetic
între doi curenți electrice

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806)
Fizician francez



Unitatea pentru tensiunea electrica

Unitatea de masura in SI este:

$$[U] = [L] / [q] = J / C = V \text{ (joule/coulomb = volt)}$$

Reamintim

unitatea de masura SI pentru lucrul mecanic:

$$[L] = [F] [l] = N \cdot m \text{ (newton . metru) } = J \text{ (joule)}$$

Lucrul mecanic se mai masoara in electron-volt

$$\mathbf{1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$$

care este egal cu lucrul mecanic efectuat de un
electron

intr-un camp electric cu tensiunea de 1 V.

E.6. Condensatorul electric

este un sistem de doua placi
separate de un material izolant (dielectric)
pe care se acumuleaza sarcini electrice de semn opus
creandu-se astfel o diferența de potențial

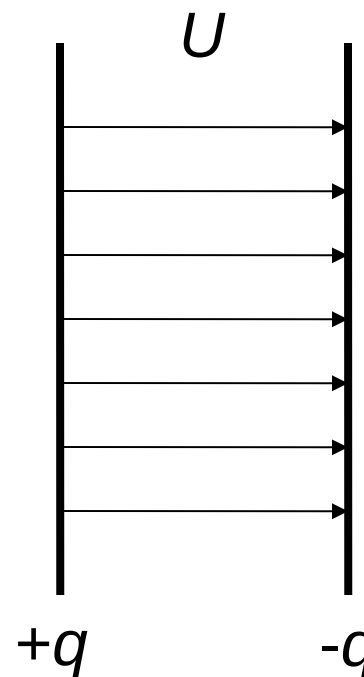
Capacitatea electrică

este raportul dintre sarcină și tensiune

$$C = \frac{q}{U}$$

Unitatea de măsură a capacității

$$[C] = \frac{[q]}{[U]} = \frac{C}{V} = F (\text{farad})$$



Alessandro Volta (1745-1827)

Fizician italian care a inventat prima sursă de tensiune electrică: pila electrochimică.

Prin introducerea unor electrozi într-o soluție acidă sarcinile pozitive se acumulează pe anod și cele negative pe catod.

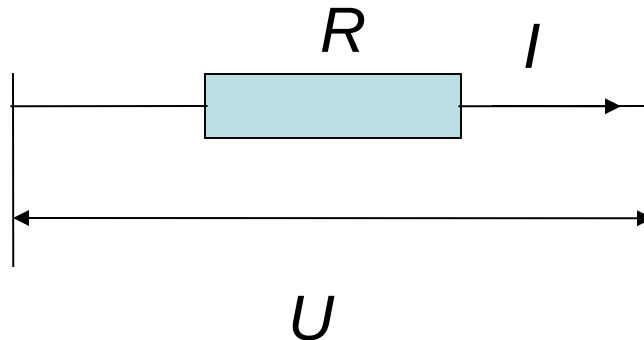
Curentul electric circula prin firul legat între anod și catod .



E.7. Legea lui Ohm

Căderea de tensiune pe o rezistență
este egală cu produsul dintre intensitate și rezistență

$$U = RI$$



Unitatea de măsură în SI pentru rezistență:

$$[R] = [U] / [I] = \text{V} / \text{A} (\text{volt} / \text{amper}) = \Omega (\text{ohm})$$

E.8. Energia curentului continuu

disipată pe o rezistență este egală cu lucrul mecanic al sarcinii q care circulă în diferenț de potențial U

$$W=L=Uq=UIt=RI^2 t$$

Puterea

este energia disipata impartita la timp

$$P=\frac{W}{t}=UI=RI^2$$

Reamintim ca energia se masoara in J (joule) si puterea in $W=J/s$ (watt).

**Georg Simon Ohm (1789-
1854)**

Fizician german

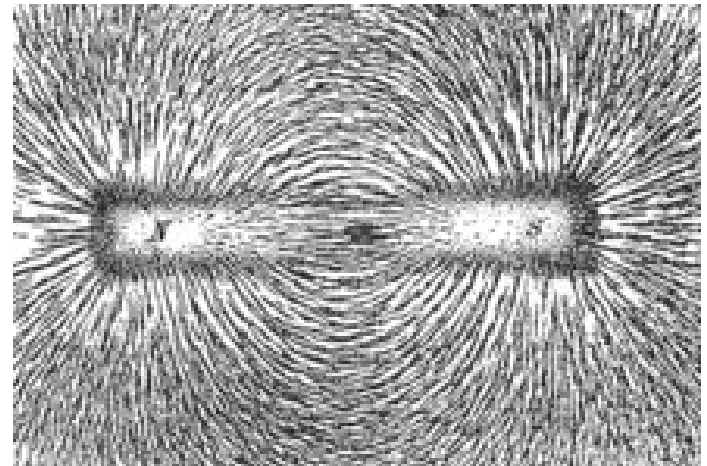
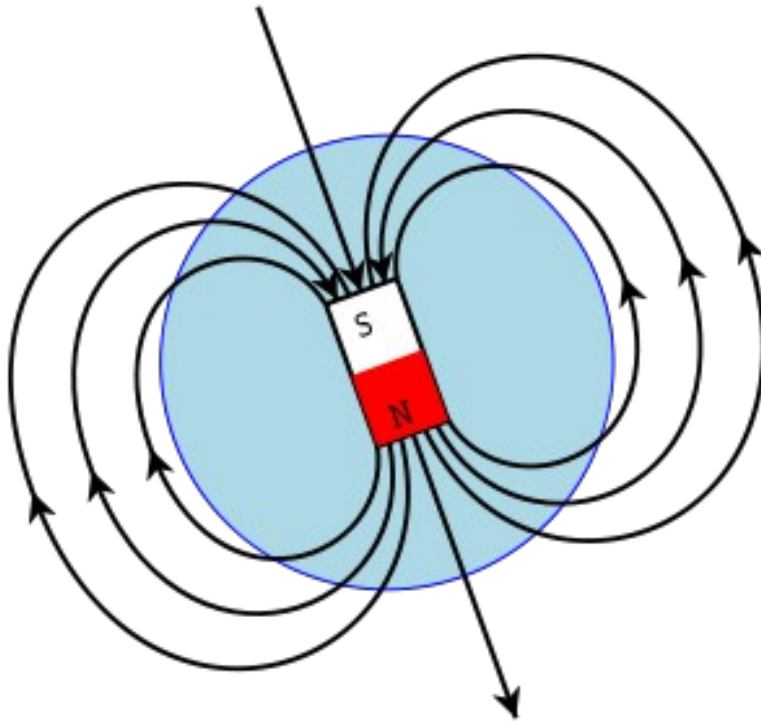


M. Magnetism

- M.1. Câmpul magnetic
- M.2. Exemple de câmpuri magnetice
- M.3. Forța magnetică. Inducția câmpului magnetic
- M.4. Inducția electromagnetică
- M.5. Fluxul magnetic
- M.6. Legea lui Faraday-Lenz

M.1. Câmpul magnetic

Pentru un magnet permanent
În mod convențional liniile de câmp ies
din
polul nord și intra în polul sud

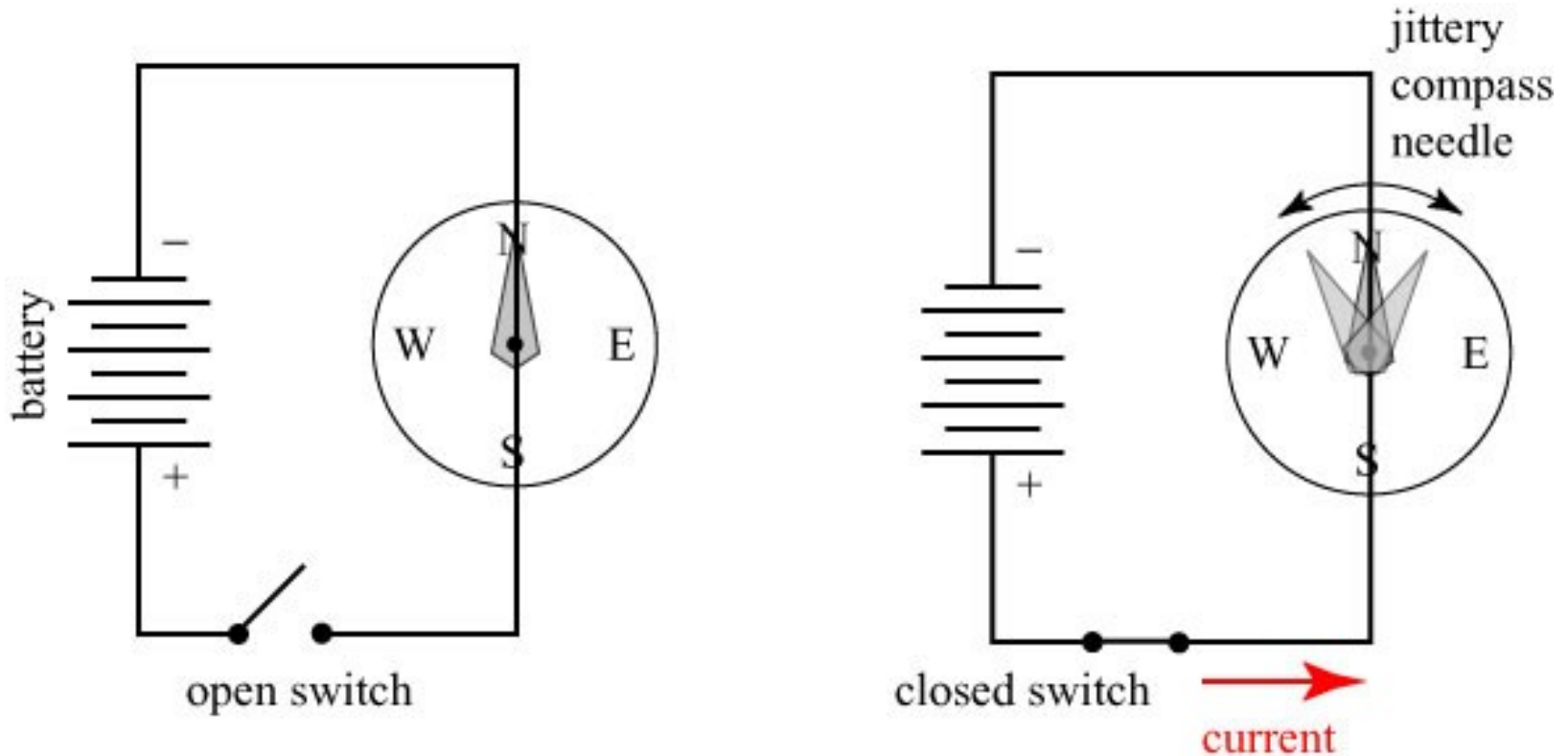


Pilitura de fier de așază pe direcția
liniilor câmpului magnetic

Câmpul magnetic este produs de mișcarea sarcinilor electrice (curent electric)

Prin urmare nu există “sarcini magnetice”

Hans Christian Oersted a observat în 1820
ca acul busolei este deviat de curentul electric



**Hans Christian Oersted (1777-
1851)**
Fizician danez

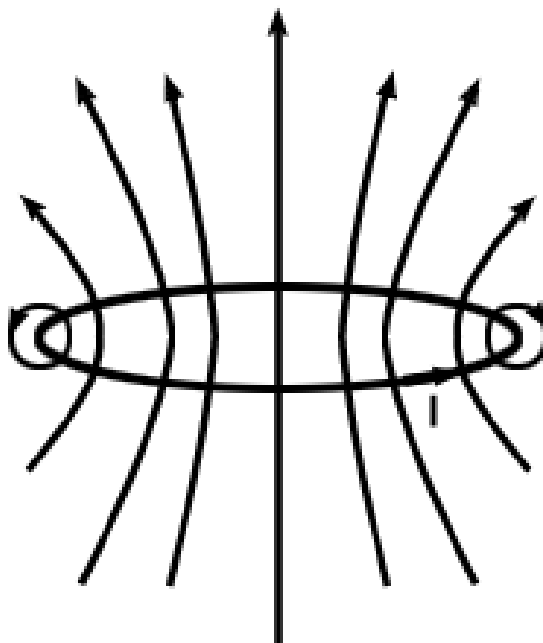


M.2. Exemple de câmpuri magnetice

a. Câmpul magnetic al unei spire

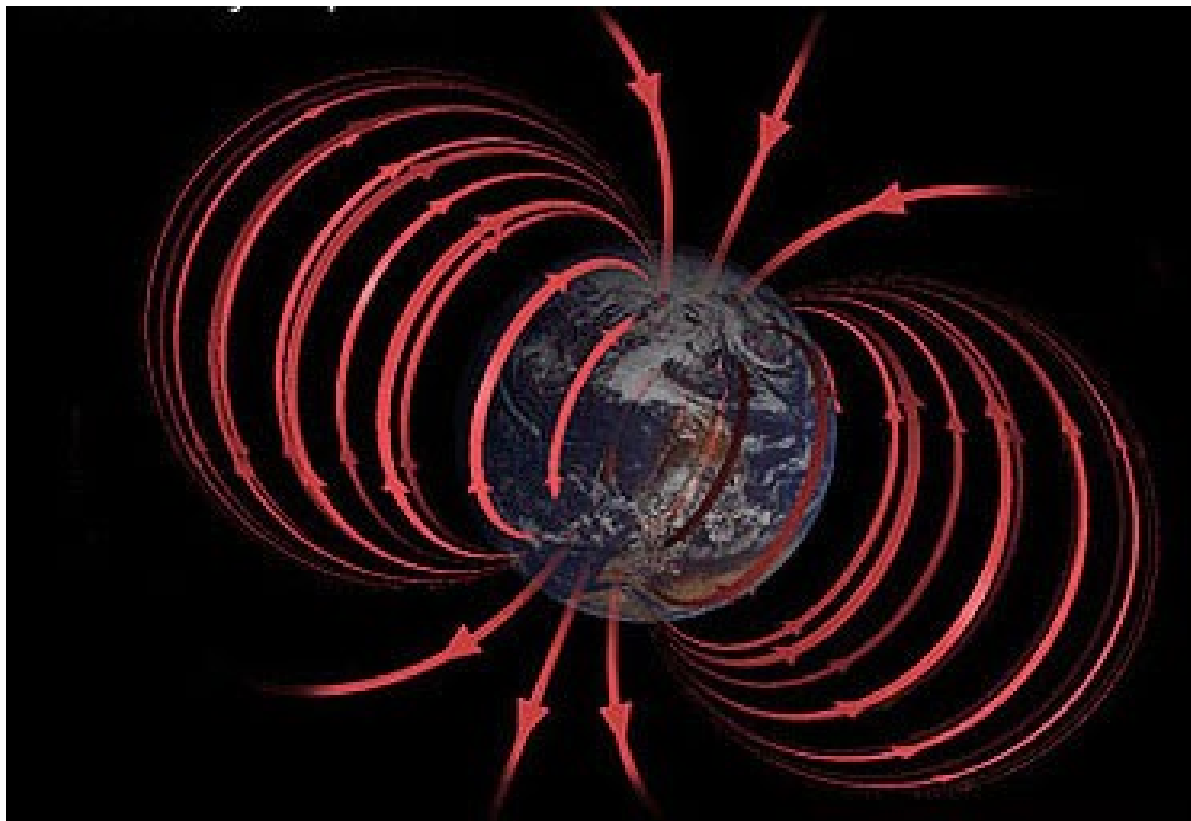
este produs de un curent electric care circulă prin ea
și are linii de câmp care înconjoara spira.

Acestea sunt similare cu ale unui magnet care este
poziționat în centrul spirei și este perpendicular pe aceasta.



b. Câmpul magnetic al Pamantului

este produs de curentul electric generat de rotația nucleului metalic lichid care este încărcat electric



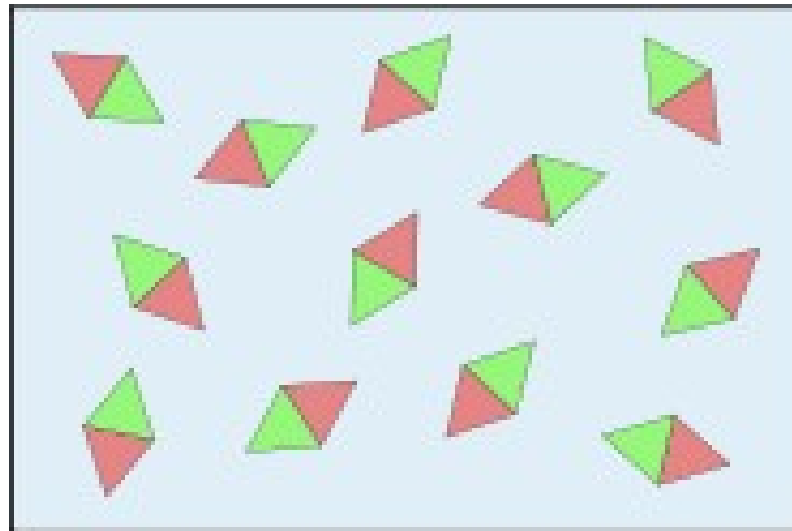
Câmpul magnetic este similar cu cel al unei spire prin care circulă curent

c. Câmpul magnetic al unui magnet permanent

Rotația electronului în jurul nucleului generează un curent electric care produce un câmp magnetic asemănător cu cel al unei spire.

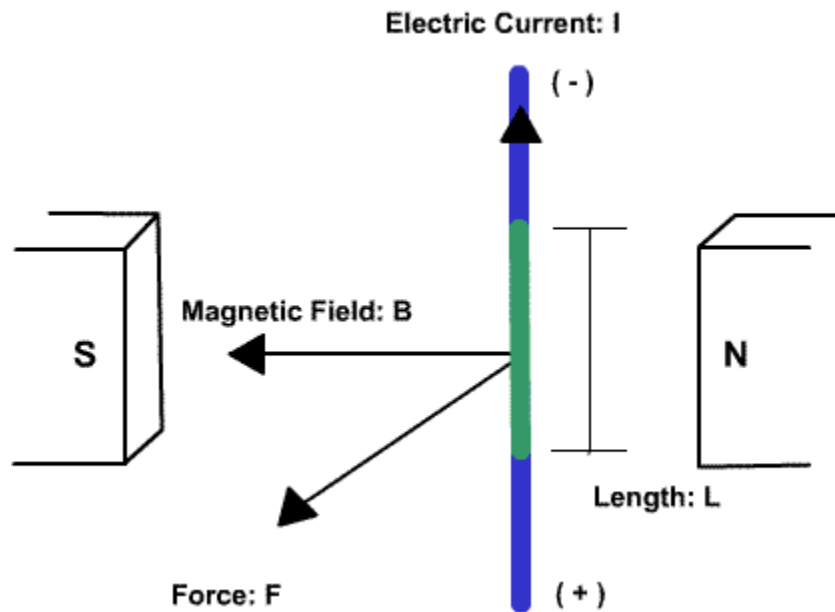
În materialele obișnuite câmpurile magnetice ale electronilor sunt orientate haotic (ca în figură).

Într-un material magnetic câmpurile magnetice ale electronilor se orientează paralel astfel încât se adună într-un câmp magnetic rezultat.



M.3. Forța magnetică

exercitată asupra unui curent electric de intensitate I dintr-un conductor de lungime l este data de relația :



$$F = BIl$$

Vectorul B se numește **Inducția câmpului magnetic** care evident se poate defini prin relația de mai sus:

$$B = \frac{F}{Il}$$

Sensul forței F este dat de următoarea regulă:
rotația vectorului Il peste vectorul B duce la înaintarea după F
în sensul dat de regula de înaintare a surubului drept

Analogia

dintre câmpul electric și magnetic

Cele doua mărimi analoage sunt:

Intensitatea
câmpului electric

$$E = \frac{F}{q}$$

Inducția
câmpului magnetic

$$B = \frac{F}{Il}$$

Câmpul electric este produs de **sarcina q** , iar

Câmpul magnetic este produs
de **elementul de curent Il**

$$q \leftrightarrow Il$$

Deosebirea constă în faptul că
liniile câmpului electric au originea în sarcinile care îl produc
în timp ce
liniile câmpului magnetic înconjoară curenții care îl produc

Unitatea de măsură a inducției câmpului magnetic

$$[B] = [F]/[I][L] = \text{N}/(\text{Am}) = \text{T (tesla)}$$

Nicola Tesla (1856-1943)
Inginer american de origina
sarba



Definiția intensității electrice în SI

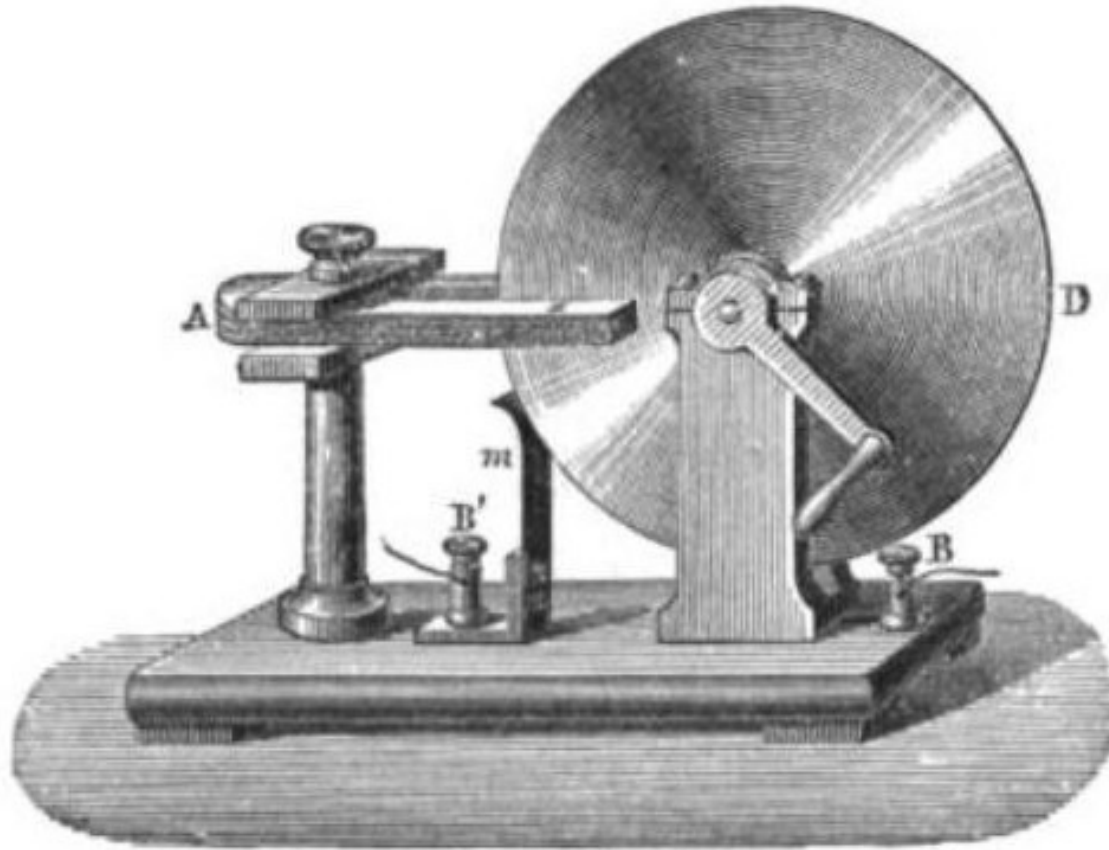
Amperul este intensitatea care circulă prin doi conductori lungi aflați la distanța de 1 m între care se exercită o forță $2 \cdot 10^{-7}$ newtoni pe fiecare metru

André-Marie Ampère (1775-1836)
Fizician francez



M.4. Inducția electromagnetică **(a nu se confunda cu inducția câmpului magnetic B !)**

a fost pusă în evidență de
experimentul lui Faraday (1831)



Prin rotația discului între polii unui magnet
se produce un curent electric continuu

**Michael Faraday (1791-
1867)**
Fizician englez



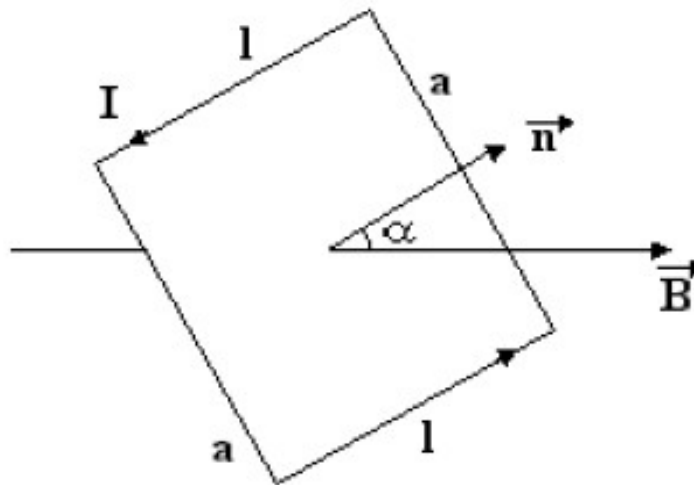
M.5. Fluxul magnetic

este egal cu produsul dintre inducția magnetică și suprafața normală

$$\Phi = BS_n$$

unde suprafață normală este definită astfel:

$$S_n = S \cos \alpha$$



α fiind unghiul dintre vectorul inducție și perpendiculară la suprafață

Observație: fluxul magnetic printr-o bobina
cu N spire este dat de relația:

$$\Phi = NBS_n$$

M.6. Legea lui Faraday-Lenz (principiul al III-lea)

Tensiunea indusă într-un circuit închis este egală cu minus variația în timp a fluxului magnetic (derivata fluxului) prin suprafața delimitată de circuit

$$u = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \rightarrow -\frac{d\Phi}{dt}$$

Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865)
Fizician rus de origine germana



Formulare echivalenta:

Variația fluxului magnetic conduce la apariția unei tensiunii electrice de semn opus.

Prin rotirea spirei din pagina precedentă se produce o tensiune alternativă (sinusoidală) la borne.

În mod similar, **variația fluxului câmpului electric generează un câmp magnetic variabil (principiul al IV-lea).**

BE. BIOELECTRICITATEA

BE.1. Bioelectrogeneza

BE.2. Excitarea nervilor

BE.3. Potentialul de actiune

BE.4. Electrocardiograful

BE.1. Bioelectrogeneza

Pe membrana celulei se formeaza o diferenta de potential datorat ionilor din apropiere. Potentialul este negativ in exterior si pozitiv in interior. Pentru celule neexcitate diferenta de potential este de 70-80 mV si se numeste **potential de repaos**.

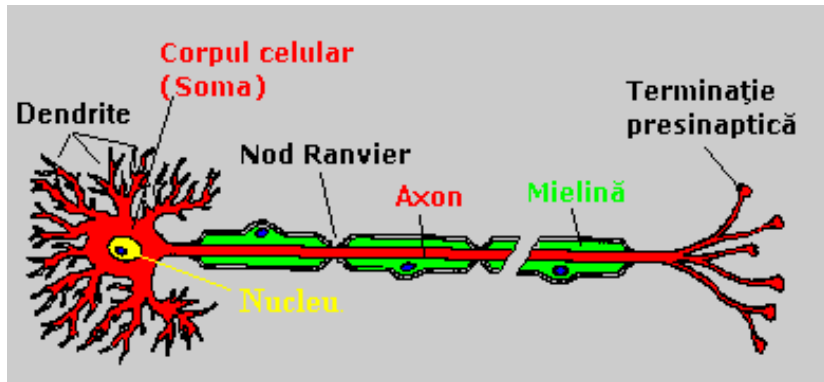
Potentialul Nernst este datorat diferentei de concentratie a ionilor de Na^+ si Cl^- din vecinatatea membranei celulare si are expresia:

$$\Phi = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_e}{c_i}$$

c_e : concentratia exterioara, c_i : concentratia interioara,

$R=8.14 \text{ J/mol K}$, $F=96000 \text{ C/mol}$, $z=1 \text{ (Na}^+)$, $z=-1 \text{ (Cl}^-)$

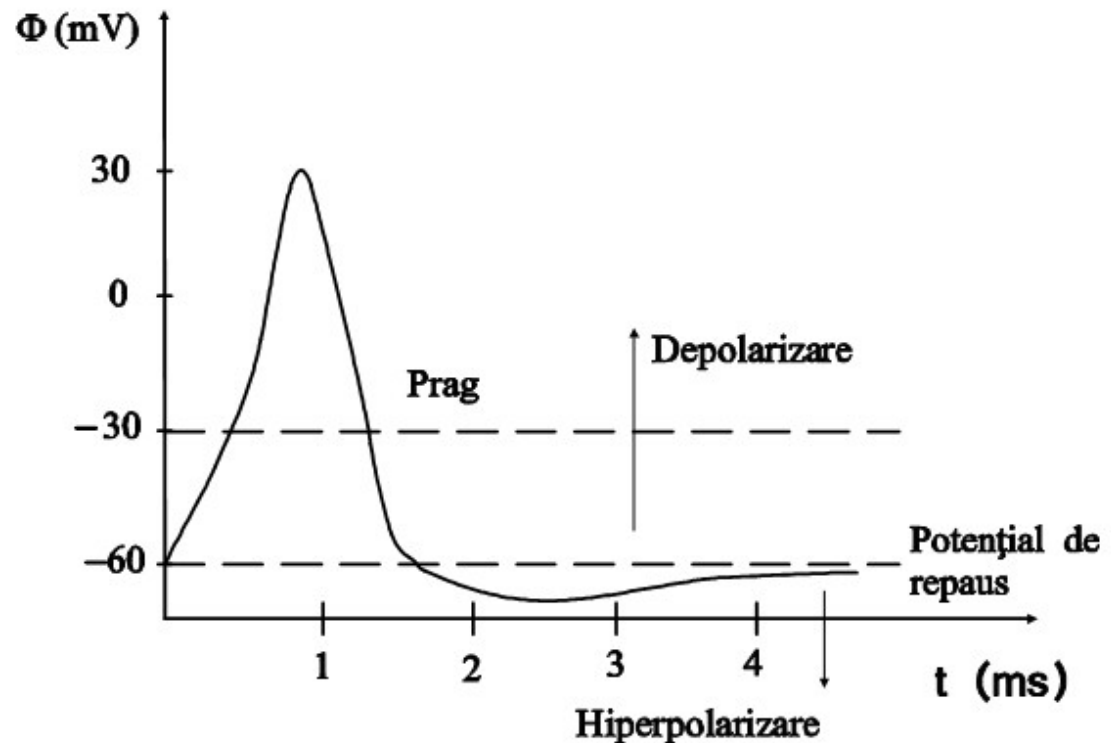
BE.2. Excitarea nervilor



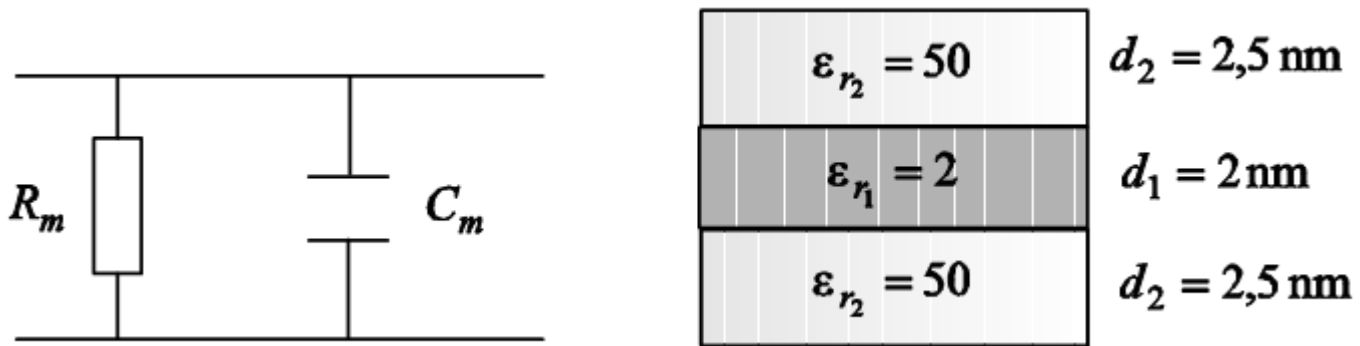
Celula nervoasa
(neuronul)

Cand un stimul atinge capatul unei dendrite acesta induce un **curent post-sinaptic** in corpul celulei. Curentul determina o schimbare a potentialului de pe suprafata celulei, numita **depolarizare**.

Fenomenul se datoreaza cresterii conductantei membranei pentru ionii de Na^+ care trec in interiorul celulei (Hodgkin si Huxley, 1952)



Echivalentul electric al membranei celulare



Suprafata celului se poate modela cu rezistenta sa electrica

$$R_m \approx 0.1 \Omega/\text{m}^2$$

legata in paralel cu capacitatea (formata din trei capacitati legate in serie)

$$C_m \approx 1 \mu\text{F}/\text{m}^2.$$

Constanta de timp a membranei celulare

Intensitatea curentului prin rezistenta este data (folosind legea lui Ohm) de

$$I = -\frac{dQ}{dt} = -C_m \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\Phi}{R_m}$$

Solutia ecuatiei $\frac{d\Phi}{\Phi} = -\frac{dt}{R_m C_m}$ este: $\int \frac{d\Phi}{\Phi} = \ln \Phi(t) - \ln \Phi(0) = -\frac{t}{R_m C_m}$

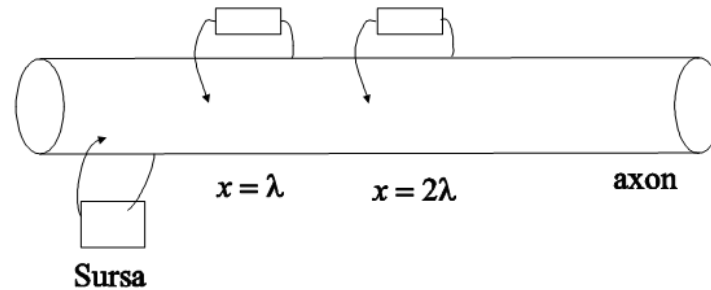
si conduce la expresia potentialului electric al condensatorului care se descarca pe rezistenta:

$$\Phi(t) = \Phi(0) e^{-t/\tau}$$

unde constanta de timp este data de relatia

$$\tau = R_m C_m = 56 \text{ ms}$$

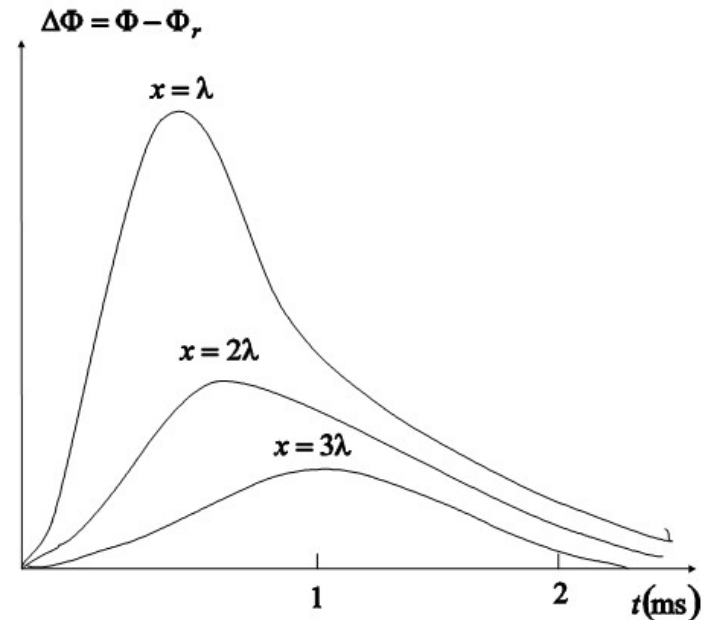
BE.3. Potentialul de actiune



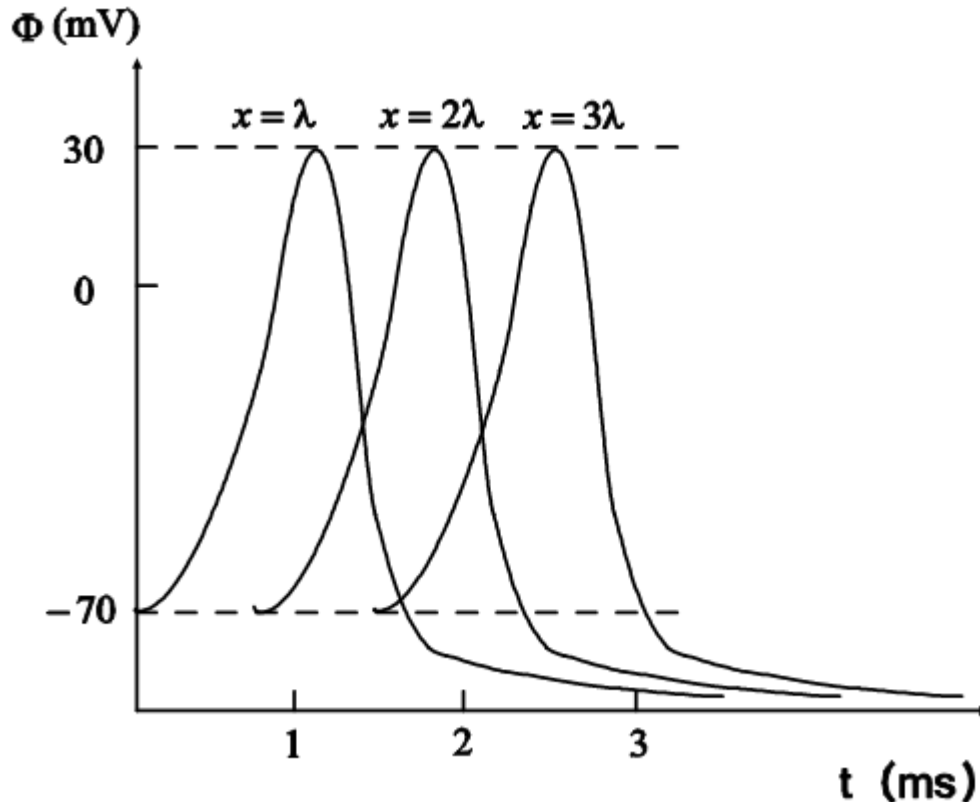
Un impuls electric aplicat la capatul unui axon se propaga in lungul sau dupa o lege care depinde de marimea sa.

a) Impuls mic: $\Phi - \Phi_r < 10\text{mV}$: variatia amplitudinii potentialului cu distanta la distante mari se face conform **legii imprastierii pasive:**

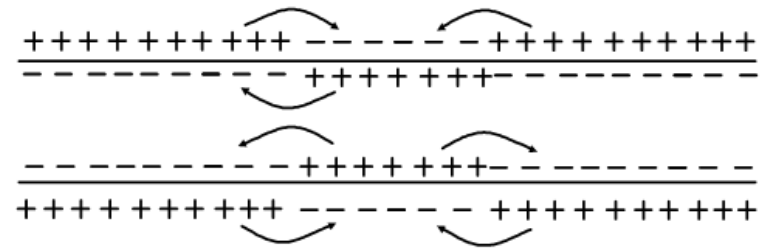
$$\Delta\Phi(x) = \Delta\Phi(0)e^{-x/\lambda}$$
$$\lambda = 10 - 20 \mu\text{m}$$



b) Impuls mare: $\Phi - \Phi_r > 10\text{mV}$: variatia amplitudinii potentialului nu mai depinde de excitatia initiala si se propaga sub forma unui **potential de actiune**



Mecanismul de propagare al potentialului de actiune



Viteza de propagare este de 50 m/s in fibrele mielinizate si 1 m/s in cele nemielinizate.

BE.3. ECTROCARDIOGRAFUL

Inima poate fi considerata ca o sursa de tensiune electrica variabila.

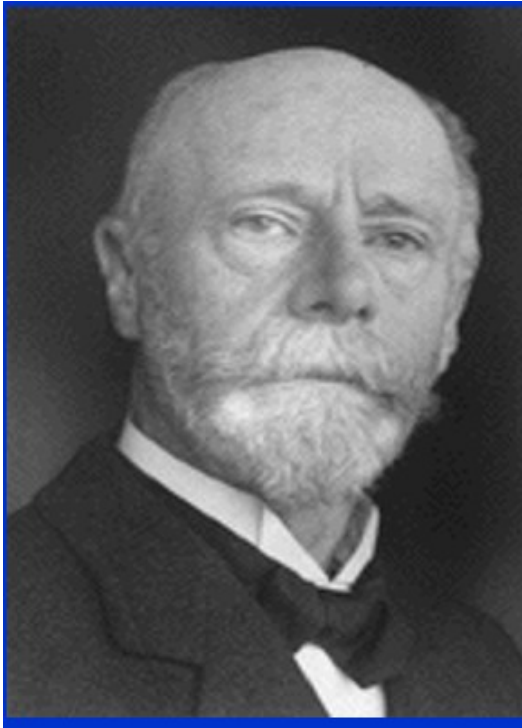
Electrocardiograful inregistreaza la suprafata corpului variatiile clinice ale campului electric indus de activitatea cardiaca sub forma de electrocardiograma (EKG) cu ajutorul unor electrozi.

Principiul de functionare

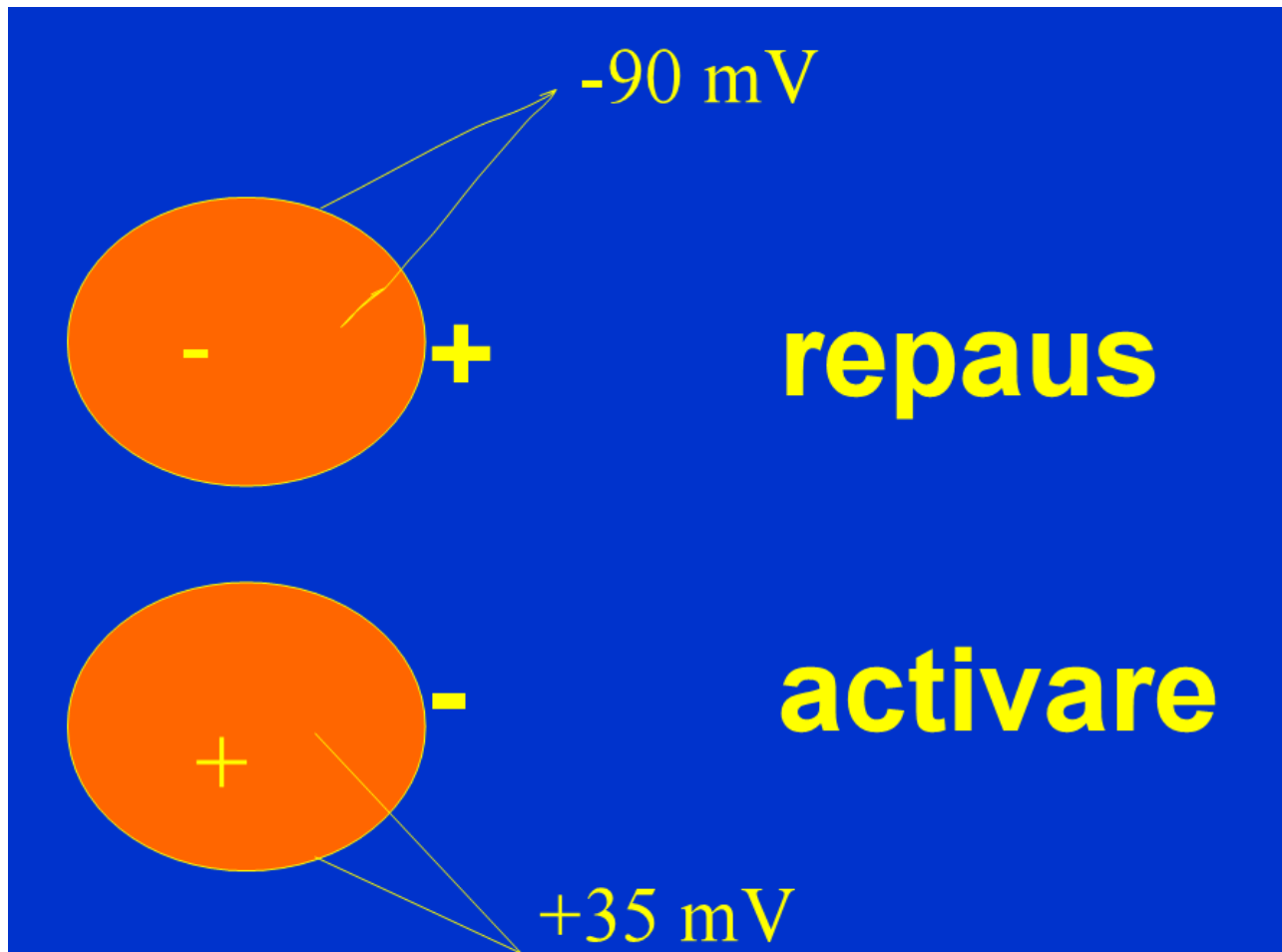
In repaus celulele cardiace sunt incarcate pozitiv pe partea externa a membranei si negativ in interior. Tensiunea este de -90 mV .

In timpul depolarizarii polaritatea membranei se inverseaza ca urmare a influxului de Natriu. Tensiunea devine $+35\text{ mV}$.

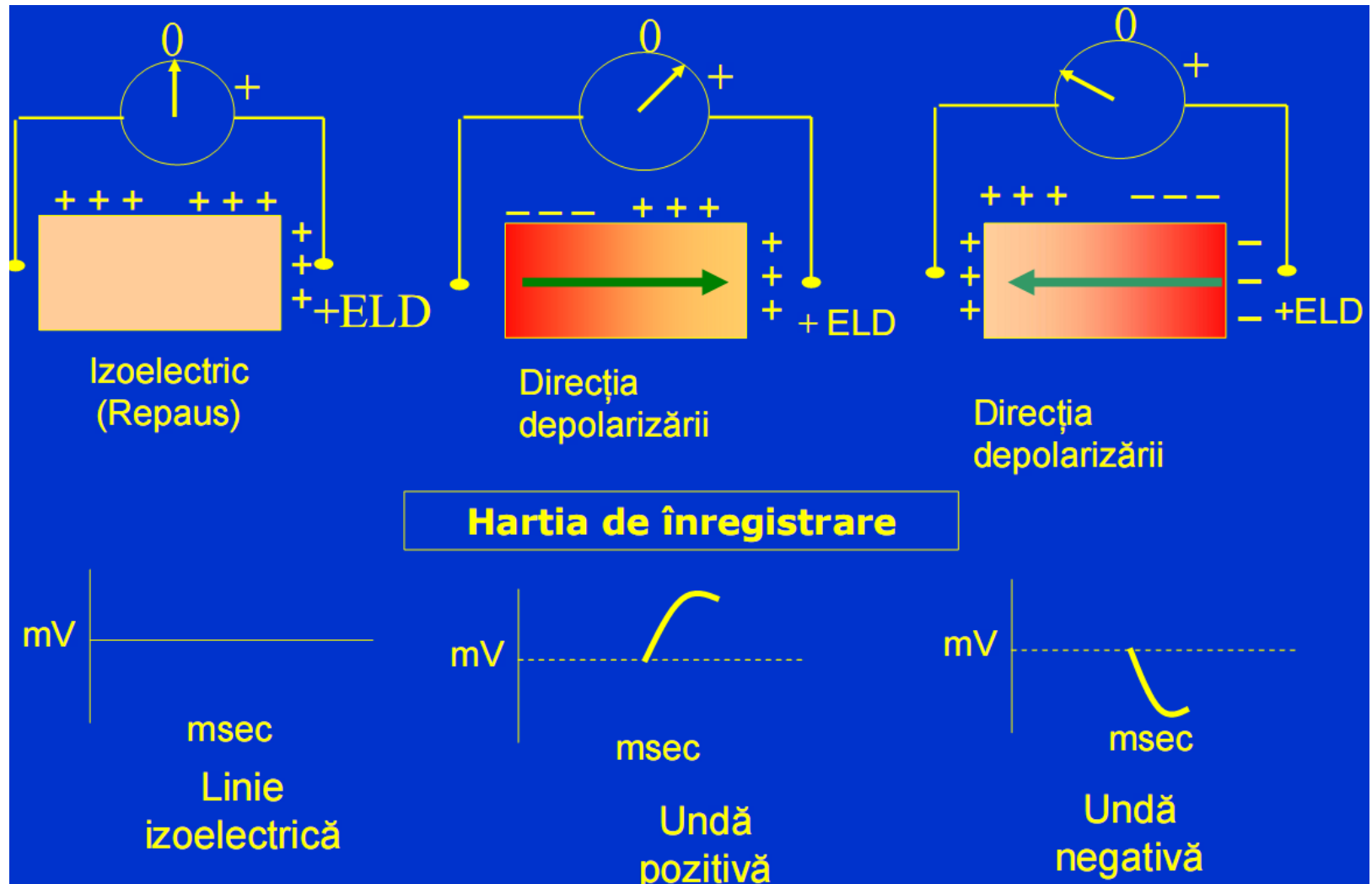
1901: Willem Einthoven (Olanda) inventeaza un dispozitiv pentru
inregistrarea EKG cu electrozi din argint
1924: primeste premiul Nobel



Polarizarea celulei miocardice



Principiul înregistrării activității electrice a inimii



Derivatiile standard ale membrelor privite in planul frontal al corpului

