

Fizica Generala

Curs 7

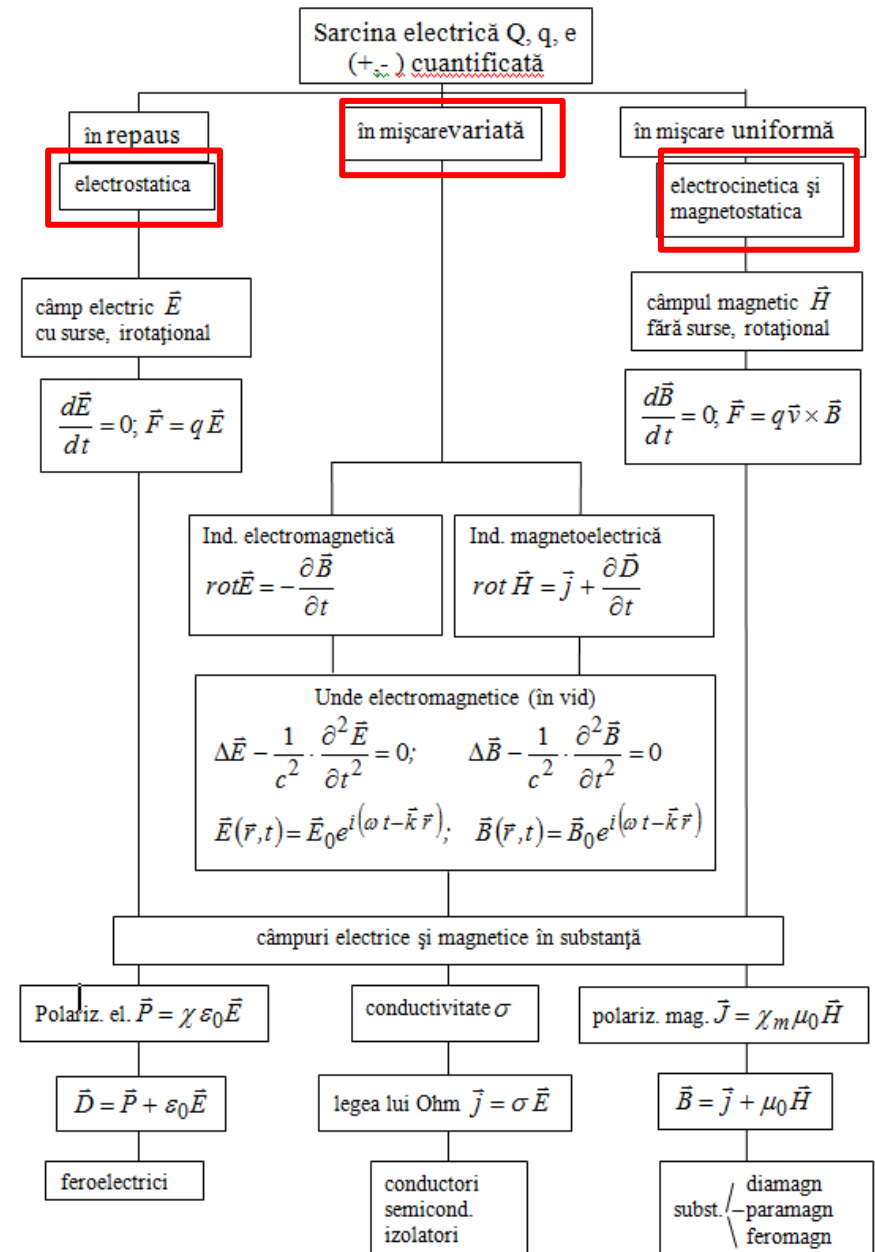
ELECTROMAGNETISM

Introdúcere

- Secolul VII î.Ch. – **Thales din Milet** menționează proprietatea specială a chihlimbarului galben, frecat, de a atrage obiecte ușoare.
- 1600 – fizicianul englez **William Gilbert** “redescoperă” electrizarea prin frecare; tot el conferă corpurilor electrizate denumirea de *electrică* – de la grecescul *electron* însemnând chihlimbar. Termenul de “electricitate” este introdus în 1646 de către scriitorul și fizicianul englez **Sir Thomas Browne**.
- 1672 – fizicianul german **Otto von Guericke** realizează prima “mașină” capabilă de a produce electricitate: o sferă de sulf rotită în jurul propriului ax, așezată într-o ladă cu nisip.
- 1727 – **Stephen Gray** introduce noțiunile de *conducător* și *izolator*. Francezul **Charles Dufay** face distincție între sarcini electrice pozitive și sarcini electrice negative și totodată face constatarea asupra interacției dintre acestea: atracție, respectiv respingere.
- 1752 – americanul **Benjamin Franklin** constată că electricitatea este un “fluid”. În timpul unei puternice furtuni un nor s-a descărcat prin sfoara zmeului pe care îl înălțase.
- 1746 – trei fizicieni din orașul olandez **Leyda** construiesc primul condensator, sub forma unei “butelii” – un pahar izolator prevăzut la interior și exterior cu foi metalice subțiri, numit și astăzi butelia de Leyda.
- 1776 – **Joseph Priestley** evidențiază existența forței de interacțiune și, mai târziu, **Charles Augustin Coulomb** determină mărimea forței de interacțiune folosind o “balanță de torsiune” construită de **Cavendish**. Este primul studiu cantitativ în domeniul electricității.
- 1791 – **Luigi Galvani** pune în evidență apariția unor manifestări electrice, prin introducerea a două conductoare de natură diferită într-un picior de broască; experimentul constituie primul pas în electrocinetică.
- 1800 – italianul **Alessandro Volta** realizează prima pila electrică (baterie).
- 1819 – danezul **Hans Christian Oersted** descoperă efectul magnetic al curentului electric; un curent electric produce în jurul sau un câmp magnetic. După scurt timp **André Marie Ampère** descoperă legea ce-i poartă numele. Germanul **Georg Simon Ohm** formulează (1827) legea cunoscută ca atare.
- 1830–33 – **Joseph Henry** și independent **Michael Faraday** descoperă fenomenul inducției electromagnetice. Se introduce conceptul de linii de forță – iar în 1834 **Lenz** formulează matematic legea inducției electromagnetice.
- 1840 – englezul **James Prescott Joule** și germanul **Herman Ludwig Ferdinand Helmholtz** demonstrează că electricitatea este o formă de energie și că circuitele electrice se supun unor legi stricte de conservare a energiei.
- 1864 – englezul **James Clerk Maxwell** reunește într-o teorie unitară cunoștințele legate de câmpul electric și magnetic, stipulând transformarea lor reciprocă și dezvoltă ideea câmpului electromagnetic ce se propagă în spațiu sub formă de unde electromagnetice. După numai 20 de ani în 1886 **Heinrich Rudolf Hertz** reușește să genereze în laborator prima undă electromagnetică, iar ceva mai târziu (1895) italianul **Guglielmo Marconi** realizează primul radioemitor.

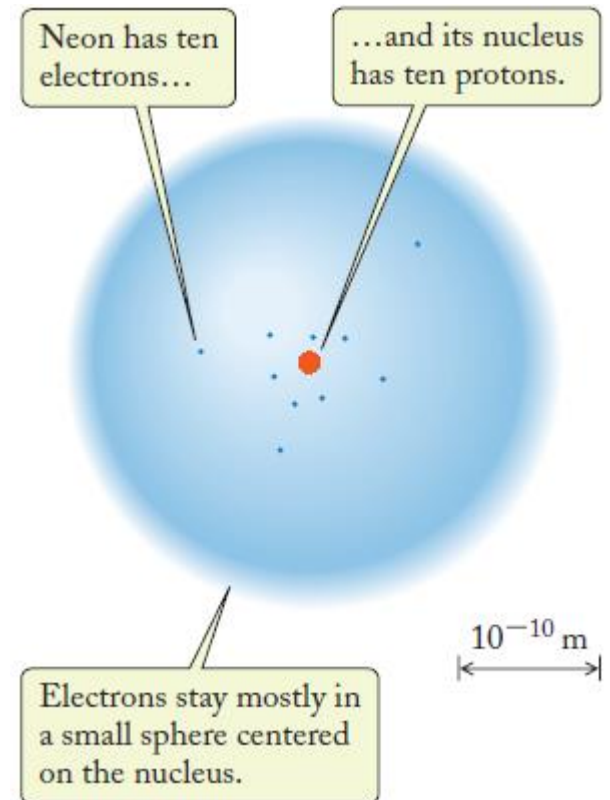
Introducere

- Se pot distinge 3 regimuri:
 - Sarcinile elec. sunt in repaus – electrostatica
 - Sarcinile elec. sunt in miscare uniforma – electrocinetica si magnetostatica
 - Sarcinile elec. sunt in miscare variata – regimul variabil



ELECTROSTATICA

- Structura materiei
- Atomi ($\sim 10^{-10}\text{m}$)
 - Nucleu ($\sim 10^{-15}\text{m}$)
 - Protoni
 - Neutroni
 - Nor de electroni
- Raport $F_e/G = 2 \cdot 10^{39}$
- Electronii simt doar forta electrica



Structura atomului
de neon

ELECTROSTATICA

- Sarcina electrica
 - Notiunea fundamentala, ce sta la baza stiintei electricitatii;
 - Aflata in repaus, aceasta determina fenomenele statice, asa numita *electrostatica*.
- Substanta este neutra din punct de vedere electric (in atom nr. electronilor egal cu cel al protonilor)
- sarcina electronului este $e^- = 1.6 \cdot 10^{-19} C$: **sarcina elementara**.
- Protonul – particula elementara avand sarcina egala si de semn opus cu a electronului
- Modul de electrizare a corpurilor:
 - prin frecare – conventional, sticla se incarca pozitiv.
 - prin inductie (influenta) – partea apropiata de corpul inductor se incarca cu sarcini de semn opus.
 - prin contact – incarcarea se face cu sarcini de acelasi semn.
 - prin mijloace speciale – piezoelectricitate, termoelectricitate, iradiere cu radiatii Roentgen sau u.v.

ELECTROSTATICA

- Incarcarea prin inductie

First the charge on a neutral sphere redistributes when rod of positive charge is near...

(a)



...and then a wire provides a path for electrons from ground.

(b)



When wire is disconnected, a net charge remains on sphere...

(c)



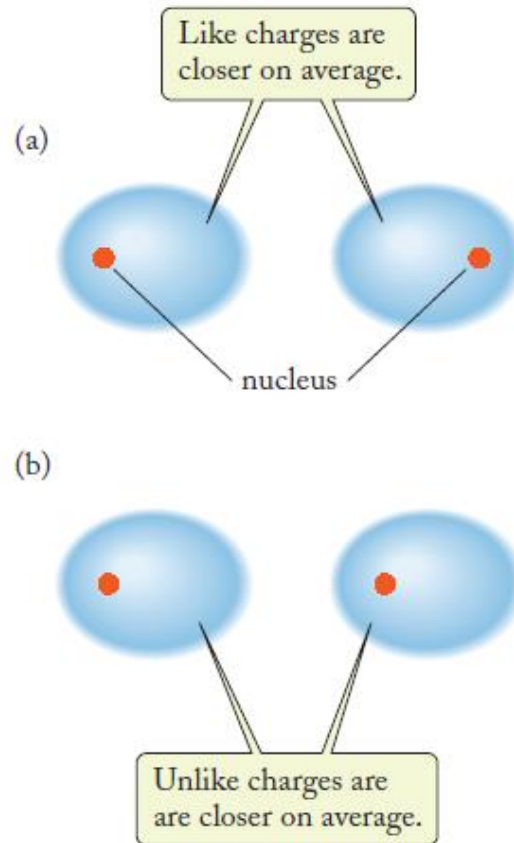
...and that charge distributes evenly when the rod is gone.

(d)



ELECTROSTATICA

- Interactiunea intre atomii care sunt neutrii d.p.d.v. electric



ELECTROSTATICA

- ▶ Proprietățile sarcinii electrice:
 - exista doua tipuri de sarcini: pozitiva si negativa (neutralitatea materiei);
 - sarcina se conserva: suma algebrica a sarcinilor oricarui sistem izolat este constanta

$$\sum (q_{+,i} + q_{-,i})_{sist.izolat} = const$$

- sarcina este cuantificata: $\mathbf{q} = \pm n \mathbf{e}$ unde $n = 1, 2, 3 \dots$

ELECTROSTATICA

► Conservarea sarcinii

◦ Bateria cu Pb – acid

- Procesul la electrodul de Pb

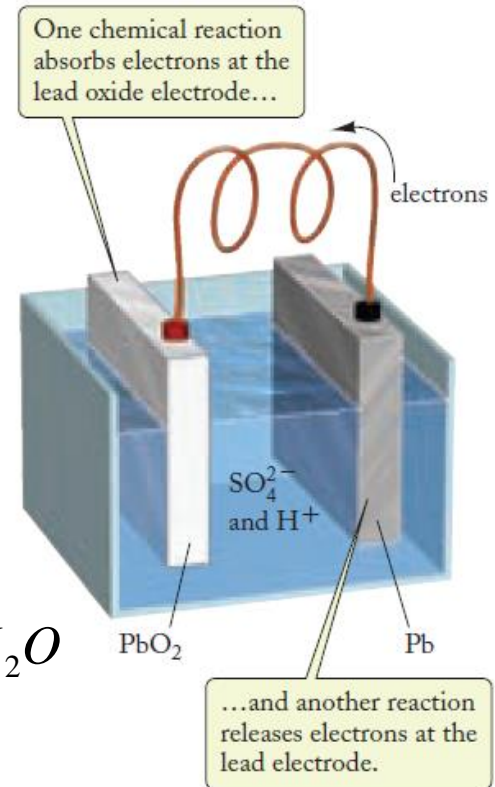
reactie: $Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2[electroni]$

sarcina: $0 + (-2e) \rightarrow 0 + (-2e)$

- Procesul la electrodul de dioxid de Pb

reactie: $PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2[electroni] \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

sarcina: $0 + 4e + (-2e) + (-2e) \rightarrow 0 + 0$



- ## ► \Rightarrow conservarea sarcinii (rearanjarea sarcinilor in molecule (numarul de electroni si protoni ramane constant))

ELECTROSTATICA

► **Legea lui Coulomb**, rezuma urmatoarele concluzii experimentale:

- sarcinile de acelasi semn se resping ($F > 0$), sarcinile de semn diferit se

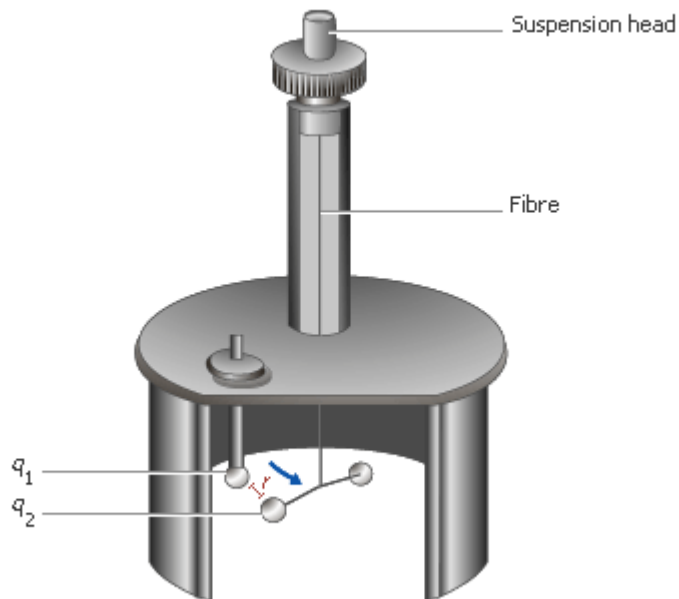


- acționează în lungul dreptei ce unește sarcinile;
- forța este invers proporțională cu
- forța este proporțională

► Exemplu a le

$$\vec{F} = k$$

- un
- ad
- ϵ_0 si



iind o



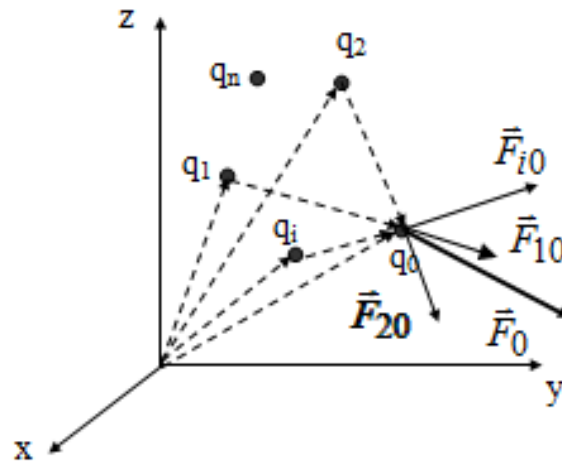
- ϵ_0 permitivitatea absoluta a vidului, se exprima in mod curent in $F m^{-1}$.

$$[q]_{SI} = C$$

ELECTROSTATICA

- ▶ Prin introducerea vectorilor de pozitie \vec{r}_i ai sarcinilor q_i in raport cu originea $O \Rightarrow$

$$\vec{F}_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_0 q_i}{(r_0 - r_i)^3} (\vec{r}_0 - \vec{r}_i)$$



Campul electric

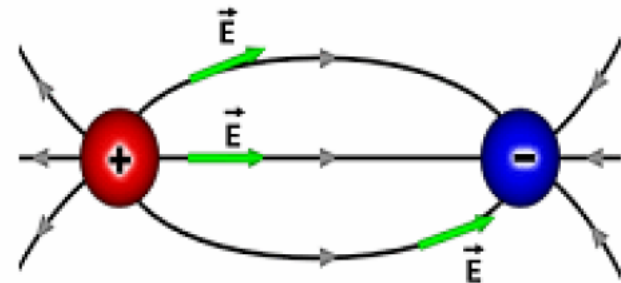
- ▶ Pentru descrierea spatiului in jurul sarcinilor este necesara introducerea unei noi marimi fizice => campul electric
- ▶ **Campul electric** – spatiul din jurul unei (mai multor) sarcini in care se face simtita actiunea acesteia.
- ▶ **Intensitatea campului electric** \vec{E} este egala cu forta ce actioneaza asupra unității de sarcina de proba q_0 :
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{(r_0 - r_i)^3} (\vec{r}_0 - \vec{r}_i)$$
- ▶ \vec{E} este o marime vectoriala

Campul electric

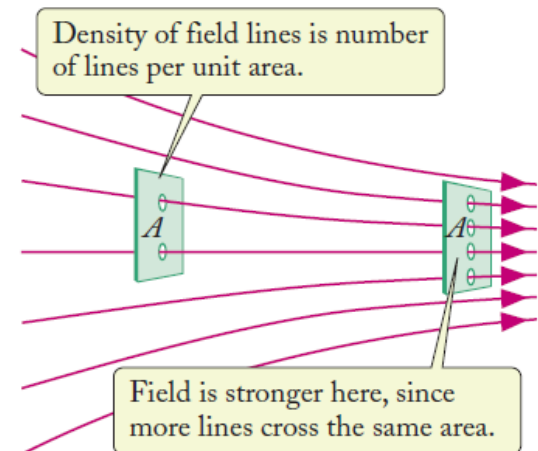
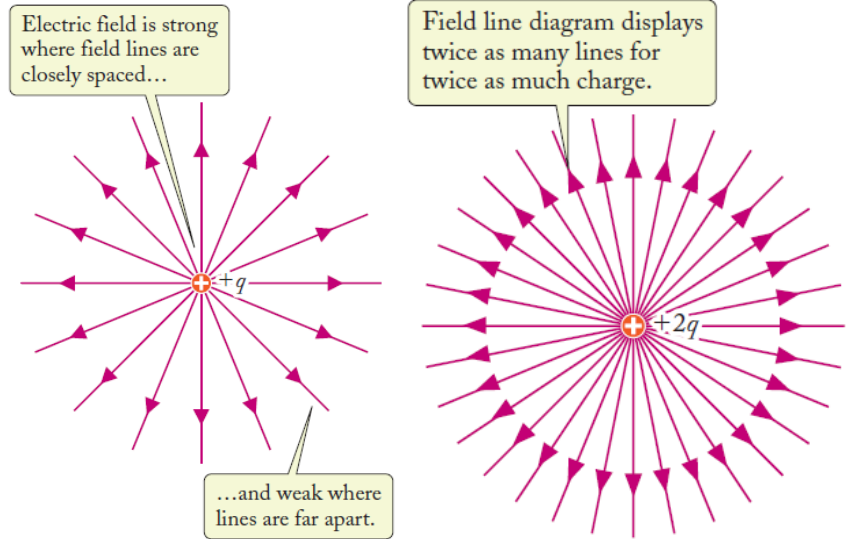
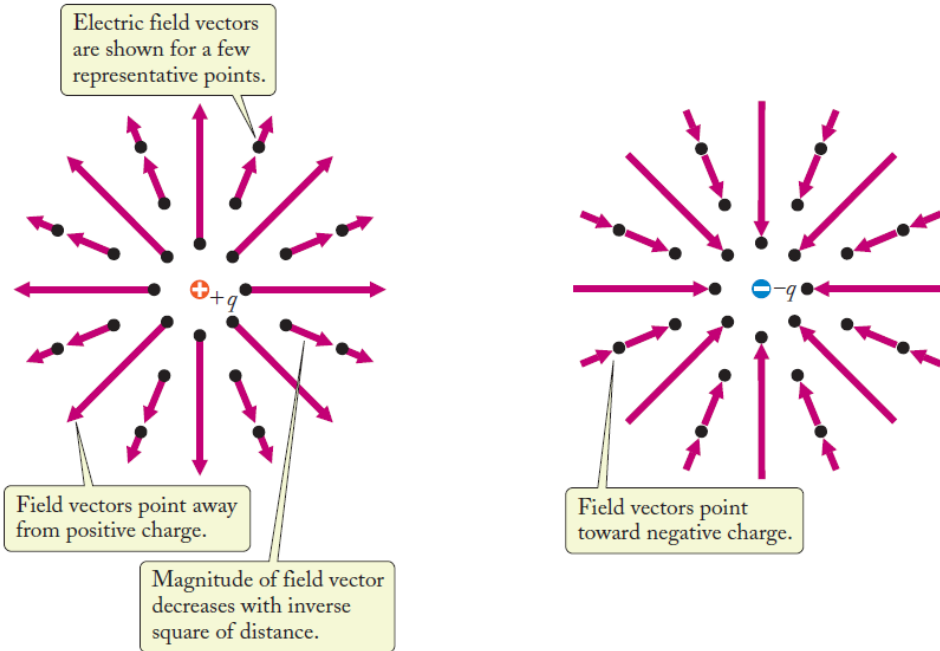
- ▶ Putem scrie $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}$

cu r distanta de la sarcina q generatoare de camp pana in punctul in care se determina \vec{E}

- ▶ campul electrostatic este definit si prin **linii de camp** – curbele tangente in orice punct la vectorul camp electric.
 - Liniile de camp electric incep intotdeauna pe sarcina pozitiva si se termina pe sarcina negativa;
 - Liniile de camp sunt curbe deschise, ele nu se intersecteaza niciodata.

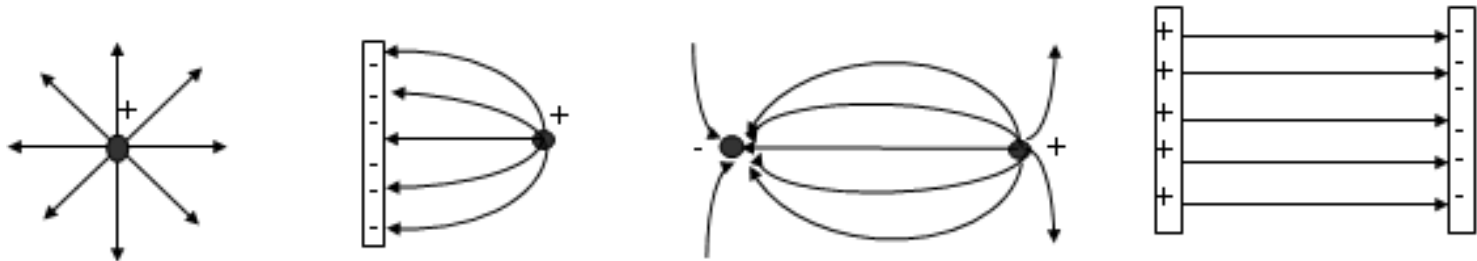


Campul electric



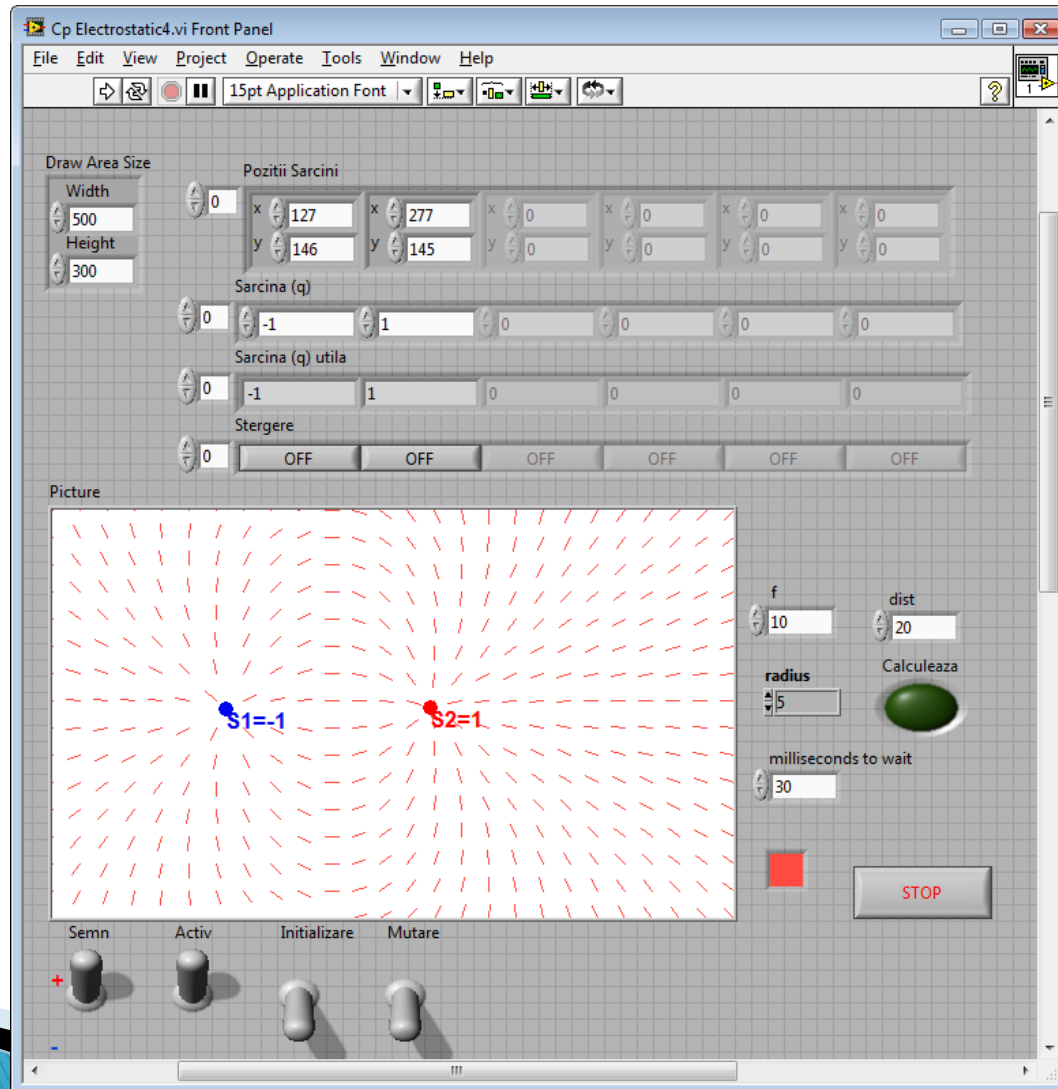
Campul electric

- ▶ Campul electric poate fi:
 - Omogen – daca liniile de camp sunt paralele si echidistante (ex.: intre doua placi plane, paralele si infinite, incarcate cu sarcini diferite ca semn).
 - Neomogen (ex.: campul creat de o sarcina punctiforma, un dipol)



- ▶ Campul E poate fi descris prin:
 - Vectorul intensitate \vec{E} (cantitativ)
 - Linii de camp (calitativ)

Campul electric



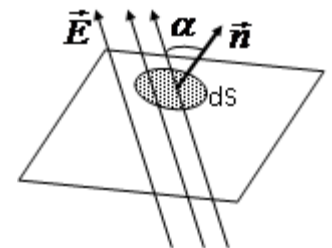
Fluxul electric.

- ▶ Alta marime ce descrie campul electric este **fluxul electric**
- ▶ **Fluxul electric** reprezinta totalitatea liniilor de camp ce intra (sau ies) intr-o suprafata normala
- ▶ Prin definitie fluxul electric este dat de integrala din produsul dintre \vec{E} si $d\vec{S}$

$$\phi_e = \iint_S \vec{E} d\vec{S}$$

- ▶ Fluxul electric elementar

$$d\phi_e = E dS_n$$

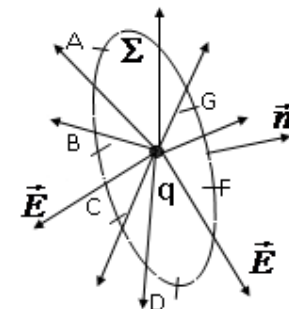
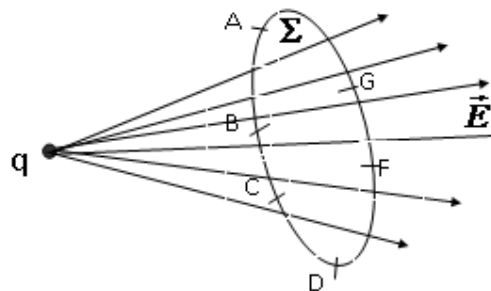


Legea lui Gauss

- fluxul campului electric printr-o suprafata inchisa este egal cu sarcina q din interiorul acesteia impartita la ϵ_0 .

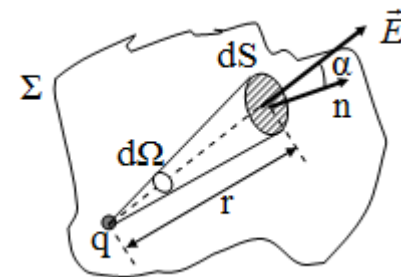
$$\oiint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

- unde q_{int} reprezinta sarcina aflata in interiorul suprafetei S
- Consideram cazurile
- \Rightarrow



- Se observa ca:
- a) $\phi_{total} = 0$, numarul liniilor care intra fiind egal cu a celor care ies; fluxurile se anuleaza reciproc in acest caz.
- b) $\phi_{total} > 0$, toate liniile de camp ies din suprafata .

Legea lui Gauss



► Demonstrație

◦ Considerăm cazul sarcinii interioare

Fie o suprafață închisă Σ în interiorul căreia se află sarcina punctiformă q . Fluxul prin suprafața elementară dS este

$$d\Phi_e = E dS \cos \alpha$$

unde $E = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 r^2}$; prin înlocuire se obține:

$$d\Phi_e = \frac{q}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{dS \cos \alpha}{r^2} = \frac{q}{4\pi \epsilon_0} d\Omega$$

Fracția $dS \cos \alpha / r^2$ reprezintă unghiul solid $d\Omega$ sub care se vede suprafața dS din punctul unde se află sarcina. Prin integrare rezultă:

$$\Phi_e = \frac{q}{4\pi \epsilon_0} \iint_S d\Omega$$

Unghiul solid total în jurul punctului unde se află sarcina este 4π . Se obține:

$$\Phi_e = \frac{q}{\epsilon_0}$$

unde q reprezintă sarcina aflată în interiorul suprafeței.

Legea lui Gauss

- ▶ Daca in legea lui Gauss consideram distributia volumica de sarcina =>

$$\oiint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho(\vec{r}) dV$$

$$\boxed{\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_V \operatorname{div} \vec{E} dV} \text{ (Gauss-Ostrogradski)} \Rightarrow \iiint_V \operatorname{div} \vec{E} dV = \frac{1}{\epsilon_0} \iiint_V \rho(\vec{r}) dV$$

- ▶ => legea lui Gauss in forma diferentiala poate fi scrisa sub forma:

$$\boxed{\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}}$$

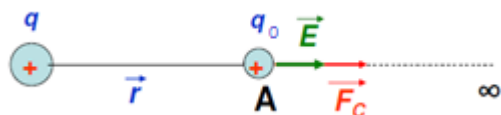
- ▶ Ecuatia arata ca in toate punctele din spatiu in care nu exista sarcini electrice, divergenta campului este nula

Potentialul in electrostatica

- ▶ Descrierea campului electric prin marimea vectoriala E este uneori incomoda, chiar dificila, \Rightarrow introducerea marimii scalare **potential**.
- ▶ Potentialul se defineste in functie de lucrul mecanic efectuat pentru deplasarea unei sarcini de proba intr-un camp electric.

Potentialul in electrostatica

- Potentialul creat de o sarcina punctiforma intr-un punct aflat la distanta r de sarcina q este:



$$\varphi(\vec{r}) = \frac{L_{A \rightarrow \infty}}{q_0}$$

$$\varphi(\vec{r}) = - \int_{\infty}^r \vec{E} d\vec{r} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$[\varphi]_{SI} = V \quad 1V = \frac{1J}{1C}$$

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

- sau

$$d\varphi(\vec{r}) = -\vec{E} d\vec{r} = -(E_x dx + E_y dy + E_z dz)$$

$$\Rightarrow E_x = \frac{d\varphi}{dx}; E_y = \frac{d\varphi}{dy}; E_z = \frac{d\varphi}{dz};$$

$$\Rightarrow \text{grad } \varphi = \frac{d\varphi}{dx} \vec{i} + \frac{d\varphi}{dy} \vec{j} + \frac{d\varphi}{dz} \vec{k}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{E} = -\text{grad } \varphi = -\nabla \varphi}$$

permite determinarea intensitatii cp. electric atunci cand se cunoaste potentialul

Energia potentiala electrostatica a sarcinii q în punctul în care potentialul electric este φ

$$W = q\varphi$$

Substanta in camp electric

- ▶ Trebuie considerata prezența materiei în câmpul electric?
- ▶ Experiențele => comportament diferit al substantelor in câmp electric (în funcție de natura substanței)
- ▶ => Clasificarea substanțelor în două clase mari:
 - *Conductoare* (apar prop. electrice in 10^{-6} s – practic instantaneu)
 - *Izolatoare* (se incarca greu dar raman un timp indelungat in starea de încărcare electrică)

si

- *semiconductoarele.*

Corpuri conductoare în câmp electrostatic

▶ Conductoare:

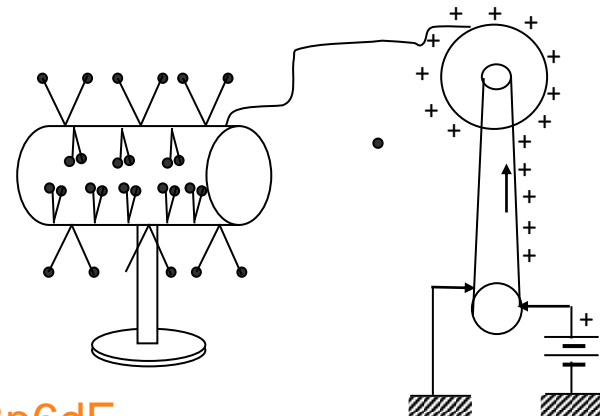
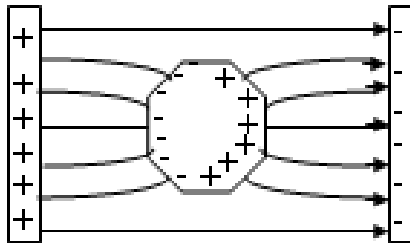
- metalele și aliajele – conductoare tipice, de clasa I
 - conducția electrică este asigurată de prezența electronilor liberi, care se deplasează instantaneu în rețea.
- conductorii electrolitici și gazele în condițiile unei descărcări electrice – conductoare de clasa II.
 - conducția este asigurată prin ionii pozitivi și negativi.

Corpuri conductoare în câmp electrostatic

- ▶ În interiorul corpurilor conductoare (metalice) intensitatea câmpului electric este nula, ca urmare potențialul este constant
$$\begin{cases} E = 0 \\ \varphi = \text{const} \end{cases} \quad \text{pt. conductoare de clasa I}$$
- ▶ deoarece la introducerea unui conductor în câmp sarcinile proprii ale corpului se redistribuie instantaneu într-un asemenea mod încât câmpul interior apărut să compenseze (riguros) câmpul aplicat din exterior (ecranarea)



43:13



Corpuri conductoare în câmp electrostatic

- ▶ Intensitatea cp. electric este data de teorema lui Coulomb. Pe un corp conductor:

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}} \quad E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{dq/\varepsilon_0}{dS} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \quad \text{cu } \sigma = dq/dS \text{ densitatea superficiala de sarcina}$$

- ▶ Prezenta sarcinilor electrice pe corpurile conductoare determina o presiune electrica:

$$p = \frac{dF}{dS} = \frac{dq \cdot E}{dS} = \frac{\sigma dS \cdot \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}}{dS} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}$$

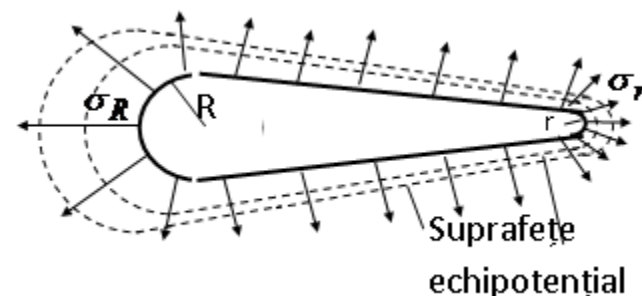
- ▶ unde intensitatea câmpului electric s-a înlocuit cu $\sigma/2\varepsilon_0$ ca medie a câmpului exterior σ/ε_0 și interior (nul).

Efectul de vârf

$$\varphi_R = \varphi_r \Rightarrow \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}; \sigma = \frac{Q}{S}$$

$$\frac{\sigma_R 4\pi R^2}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{\sigma_r 4\pi r^2}{4\pi\epsilon_0 r} \Rightarrow \sigma_R R = \sigma_r r \Rightarrow \frac{R}{r} = \frac{\sigma_r}{\sigma_R}$$

$$R > r \Rightarrow \sigma_R < \sigma_r$$



- ▶ Densitatile superficiale pe o suprafata metalica cu forma neregulata se afla intr-un raport egal cu raportul razelor partilor de suprafata
 - Ex. 1. paratrasnetul legat la pamant
 - 2. microscop cu emisie in camp
 - etc.
- ▶ Repartitia diferita a sarcinilor pe corpuri cu geometrie variabila (varfuri) poarta denumirea de efect de varf

Efectul de vârf



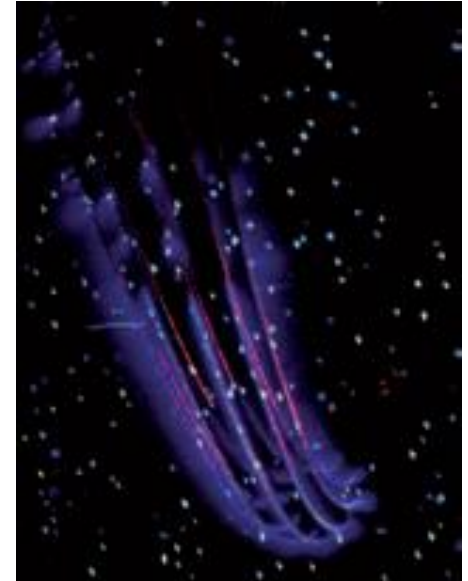
Efectul de vârf



Paratragnet



Paratragnet ce marest
descarcarea in coroana



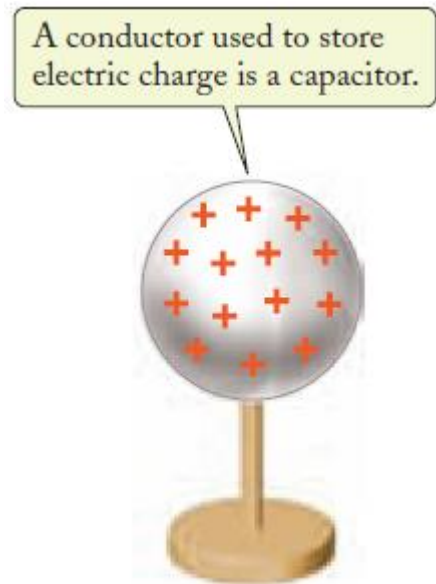
Descărcare in coroană in
jurul firelor de inalta
tensiune.

Capacitatea electrica.

- ▶ Potentialul unui sfere metalice izolate

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

- ▶ \Rightarrow sarcina inmagazinata este proportionala cu potentialul



Capacitatea electrica.

Condensatoare

- ▶ Capacitatea electrică exprimă capacitatea unui conductor de a înmagazina sarcini.

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad [C]_{SI} = F = \frac{1C}{1V}$$

- ▶ Clasificarea condensatoarelor

- ▶ 1. Plane

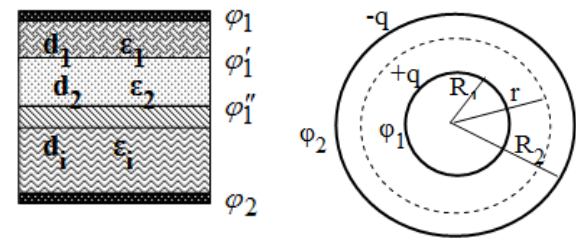
- a) doua armaturi plan paralele
- b) Plan multiplu (succesiune de armaturi, incarcate cu sarcini in mod alternant
- c) Condensatorul sandwich: contine mai multi dielectrics intre armaturi

- ▶ 2. Cilindrice – formate din doi cilindri de aceeasi inaltime, dar de raze diferite

- ▶ 3. Sferice – formate din doua sfere de raze diferite R_1, R_2 .

cu $R_2 > R_1$

$$C = 4\pi\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1},$$



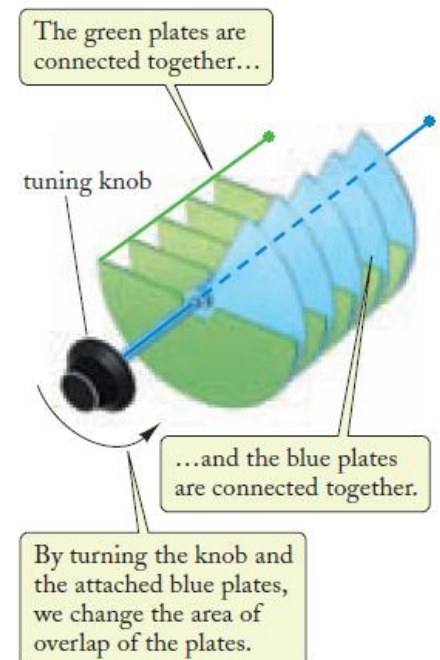
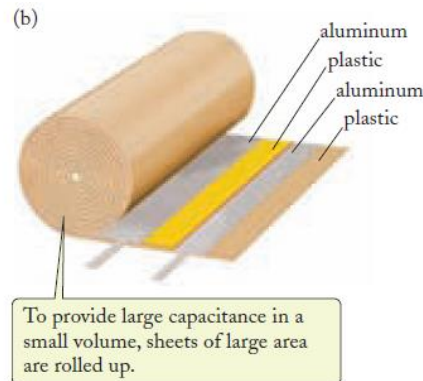
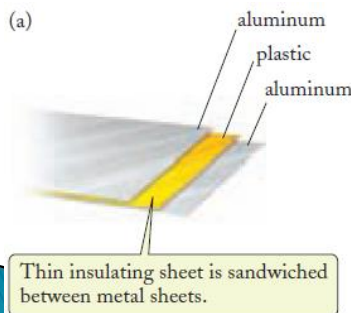
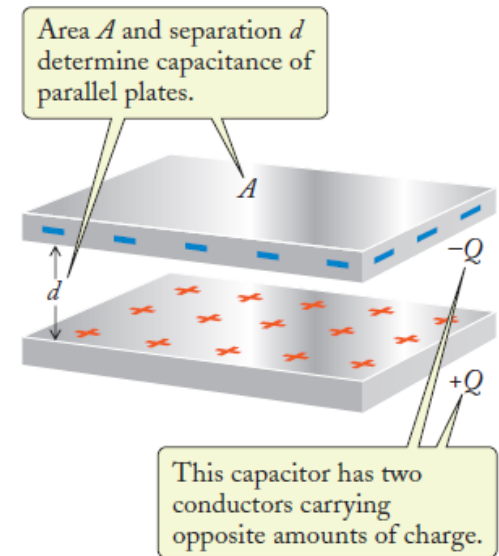
Capacitatea electrica. Condensatoare

► Condensatorul plan

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 S}$$

$$\Delta\varphi = Ed = \frac{qd}{\epsilon_0 S}$$

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{\frac{qd}{\epsilon_0 S}} = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$



Gruparea condensatoarelor

- Paralel:

- Diferenta de potential este egala

$$\Delta\varphi = \frac{q_1}{C_1} \text{ si } \Delta\varphi = \frac{q_2}{C_2}$$

- => sarcina totala

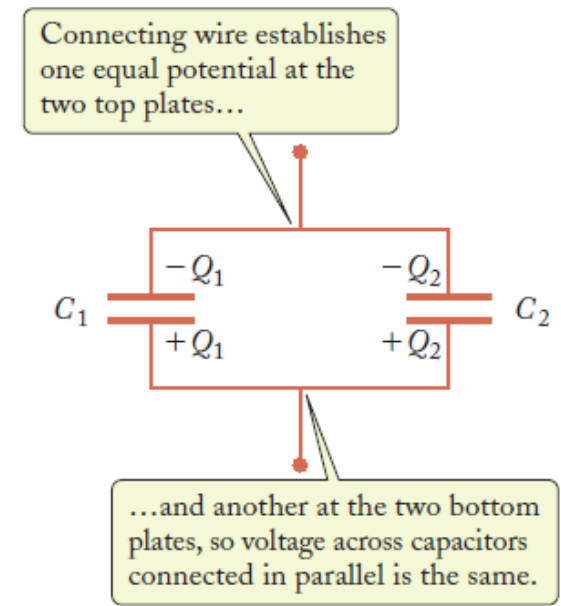
$$q = q_1 + q_2 = C_1\Delta\varphi + C_2\Delta\varphi$$

- => capacitatea totala

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{(C_1 + C_2)\Delta\varphi}{\Delta\varphi}$$

$$C = C_1 + C_2$$

- => Forma generala $C_{ech,p} = \sum_{i=1}^n C_i$



Gruparea condensatoarelor

• Serie:

- I este aceeași prin tot circuitul

$$\Delta\varphi_1 = \frac{q}{C_1} \text{ si } \Delta\varphi_2 = \frac{q}{C_2}$$

- \Rightarrow diferența de potențial

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$$

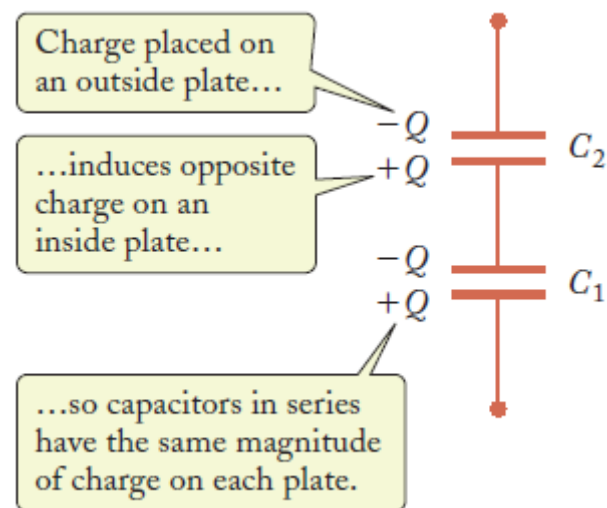
- \Rightarrow capacitatea totală

$$\Delta\varphi = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{\Delta\varphi}{q} = \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

- \Rightarrow Forma generală

$$\frac{1}{C_{ech,serie}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$$



Capacitatea electrica.

Condensatoare

- ▶ Pentru condensatorul plan, potențialele la care se încarcă cele două armături sunt φ_+ și φ_- . Deoarece distribuția de sarcină este superficială, pentru energia potențială se poate scrie:

$$W_p = \frac{1}{2} \iint_S \sigma(\vec{r}) \varphi(\vec{r}) dS \Rightarrow W_p = \frac{1}{2} \varphi_+ \iint_S \sigma_+ dS + \frac{1}{2} \varphi_- \iint_S \sigma_- dS \Rightarrow W_p = \frac{1}{2} q(\varphi_+ - \varphi_-) = \frac{1}{2} qU$$

- ▶ unde $U = \varphi_+ - \varphi_-$ este diferența de potențial dintre armături (tensiunea electrică) \Rightarrow

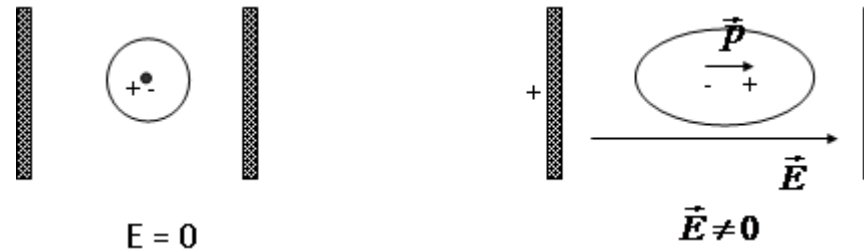
- ▶ $W_p = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{CU^2}{2} \quad (*)$

- ▶ Din $C = \frac{\varepsilon S}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d}$ și $(*) \Rightarrow W_p = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon S}{d} \cdot E^2 d^2 = \frac{1}{2} \varepsilon E^2 \cdot V$

unde $V = S d$ este volumul cuprins între armăturile condensatorului.

Expresia energiei conținute în condensator este aceeași cu expresia generală a energiei cp. electric

Substanțe izolatoare în câmp electrostatic (dielectrici)



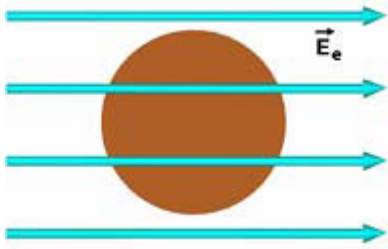
- ▶ D.p.d.v. electric, atomul:
 - in afara oricărui câmp electric – prezintă o simetrie perfectă (sarcină pozitivă centrală negativă exterioară)
 - În prezența unui câmp electric – simetria se strică => atomul prezintă *un moment electric dipolar* $\vec{p} = q\vec{l}$ paralel cu câmpul aplicat din exterior.
- ▶ **Dipolul** este un sistem de două sarcini egale și de semn opus aflate la o distanță l (axa dipolului) mică comparativ cu distanțele exterioare și descris prin momentul dipolar \vec{p} orientat dinspre sarcina negativă spre cea pozitivă.

Substanțe izolatoare în câmp electrostatic (dielectrici)

- Clasificarea dielectricilor
 - Apolari – prezintă simetrie sferică în absența câmpului și se caracterizează prin dipoli induși
 - Polari – nu prezintă simetrie chiar și în absența câmpului și se caracterizează prin dipoli permanenți
- Fenomenul ce apare în câmpul electric s.n. polarizare, care poate fi:
 - *polarizare prin deplasare (inductie)*
 - *polarizarea prin orientare (dipoli, paraelectrică – HCl, H₂O)*

Substanțe izolatoare în câmp electrostatic (dielectrici)

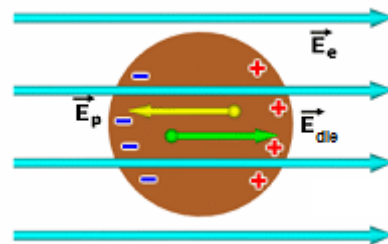
- ▶ Marimea ce caracterizeaza fenomenul de polarizare este vectorul polarizare electrica dat de suma momentelor dipolare din unitatea de volum, \vec{P} .



- ▶ Cp. in interiorul dielectricului este de forma:

$$\vec{E}_{die} = \vec{E}_e + \vec{E}_p$$

$$E_{die} = E_e - E_p$$



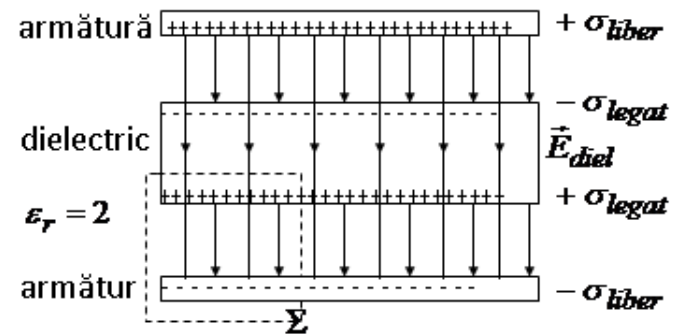
- ▶ In interiorul dielectricului campul este mai slab decat in vid

Substanțe izolatoare în câmp electrostatic (dielectrice)

- În cazul condensatoarelor:

$$C = C_0 \epsilon_r = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d} \text{ si } \epsilon_r \geq 1$$



- unde ϵ_r este permitivitatea relativa ce arata de cate ori creste capacitatea condensatorului prin introducerea dielectricului
- Descrierea dielectricilor se face prin vectorul inductie electrica:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}_{die} \quad (*)$$

Substanțe izolatoare în câmp electrostatic (dielectrics)

DIELECTRIC CONSTANTS OF SOME MATERIALS^a

MATERIAL	ϵ_r
Vacuum	1
Air	1.000 54
Carbon dioxide	1.000 98
Polyethylene	2.3
Polystyrene	2.5
Rubber, hard	2.8
Transformer oil	≈ 3
Plexiglas	3.4
Nylon	3.5
Epoxy resin	3.6
Paper	≈ 4
Glass	≈ 6
Porcelain	≈ 7
Water, distilled	80
Strontium titanate	320

Energia în prezența dielectricilor

- ▶ Din $W_p = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 V$, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ și (*) \Rightarrow

$$W_p = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r E^2 V = \frac{1}{2} \vec{D} \cdot \vec{E} V$$

- ▶ expresia energiei într-un sistem cu dielectric
- ▶ \Rightarrow densitatea volumică de energie:

$$w = \frac{1}{2} \vec{D} \cdot \vec{E}$$