

prof. gr. I. Sabina Hilohi

cercet. șt. pr. ing. Florin Hilohi

prof. dr. ing. Doinița Ghinea

Electrotehnică aplicată

Liceu tehnologic, profil tehnic

Manual pentru clasa a X - a



EDITURA DIDACTICĂ SI PEDAGOGICĂ S.A.

Cap.1	Definirea mărimilor de bază din electrostatică	3
1.1	Noțiuni specifice	3
1.2	Definirea globală a mărimilor de bază	4
1.3	Stări ale corpurilor specifice producерii fenomenelor electrostatice	6
1.4	Aplicații tehnice	15
Cap.2	Explicarea noțiunilor de: forță electrostatică, câmp electric, inducție, flux, potențial, tensiune. Gruparea condensatoarelor	17
2.1	Forțe electrice. Forțe electrostatice	17
2.2	Câmpul electric	22
2.3	Fluxul electric	27
2.4	Potențialul electrostatic. Tensiunea electrostatică	31
2.5	Câmpul electric în interiorul corpurilor	39
2.6	Inducția electrică	45
2.7	Mișcarea în câmp electric a particulelor încărcate	47
2.8	Capacitatea electrică. Gruparea condensatoarelor	51
Cap.3	Legile de bază ale electrocineticii	56
3.1	Starea de conductie. Definirea curentului electric	56
3.2	Aplicații tehnice	66
3.3	Legea conductionei electrice	67
3.4	Teoremele lui Kirchhoff	74
3.5	Legea transformării energiei în conductoarele parcuse de curent (legea Joule)	80
Cap.4	Câmpul magnetic. Legea inducției electromagnetice	84
4.1	Acțiuni ponderomotoare care atestă prezența câmpului magnetic. Definirea câmpului magnetic. Surse de câmp magnetic	84
4.2	Poli magnetici	86
4.3	Spectrul câmpului magnetic	87
4.4	Inducția magnetică	88
4.5	Intensitatea câmpului magnetic	90
4.6	Tensiunea magnetică	91
4.7	Tensiunea magnetomotoare. Teorema lui Ampère	91
4.8	Fluxul câmpului magnetic	93
4.9	Inductanța unui circuit	93
4.10	Forța Lorentz	95
4.11	Forța Laplace	97
4.12	Forța electrodinamică	98
4.13	Cuplul de forțe exercitat asupra acului magnetic	99
4.14	Proprietățile magnetice ale materialelor și comportarea acestora în câmp magnetic	100
4.15	Inducția electromagnetică. Observarea și definirea fenomenului. Legea inducției electromagnetice	104
4.16	Sensul curentului indus. Regula lui Lenz	106

4.17	Autoinductanță	108
4.18	Cuplajul inductiv a două circuite	109
4.19	Energia câmpului magnetic al unei bobine	110
4.20	Forța portantă a unui electromagnet	111
Cap.5	Componente electrice pasive de circuit	114
5.1	Rezistoare	114
5.2	Condensatoare	118
5.3	Bobine	124
5.4	Componente electrice pasive miniaturizate	127
Cap.6	Efectele curentului electric	129
6.1	Efectul electrocaloric	129
6.2	Efectul electrochimic	133
6.3	Efectul Hall	135
6.4	Efectul piezoelectric	137
6.5	Efectul fotoelectric	139
6.6	Efectul Seebeck	141
Cap.7	Curentul alternativ	143
7.1	Producerea tensiunii electromotoare alternative monofazate	143
7.2	Mărimi caracteristice curentului alternativ monofazat	144
7.3	Producerea tensiunii electromotoare alternative trifazate	148
7.4	Conexiunile generatoarelor. Relații între tensiuni	148
7.5	Conexiunile receptoarelor. Relații între curenți	149
7.6	Puterea totală în sisteme trifazate	149
7.7	Comportarea elementelor pasive de circuit în curent alternativ	150
7.8	Gruparea elementelor pasive de circuit R, L, C.	155
Cap.8	Sistemul energetic național. Receptoare uzuale. Principiul redresării, filtrării și stabilizării	162
8.1	Structura sistemului de producere, transport și distribuție a energiei electrice	162
8.2	Receptoare electrice	167
8.3	Principiul redresării, filtrării și stabilizării	171
Cap.9	Echipamente electrice de comutare și de protecție. Mașini electrice	175
9.1	Echipamente electrice de comutare și de protecție	175
9.2	Mașini electrice	188
9.3	Transformatorul electric	202
9.4	Solicitări ale aparatelor și mașinilor electrice	206
Cap.10	Instalații electrice industriale	210
10.1	Sudarea electrică	210
10.2	Tracțiunea electrică și acționarea electrică a utilajelor	212
10.3	Prelucrarea cu ultrasunete și prin electroeroziune	216
10.4	Norme specifice de protecția muncii și PSI în exploatarea echipamentelor și instalațiilor electrice. Acordarea primului ajutor	219

DEFINIREA MĂRIMILOR DE BAZĂ DIN ELECTROSTATICĂ

Prin activitățile de învățare desfășurate, având ca suport conținutul acestui capitol, se urmărește formarea următoarelor competențe specifice:

- a – înțelegerea sensului și operarea cu noțiuni specifice privind mărimele și legile de bază din electrostatică;
- b – aplicarea în tehnică a fenomenelor electrostatice.

Electrostatica studiază fenomenele din sistemele fizice formate din corpuri imobile unul față de altul și din câmpuri electrice, la care mărimele de stare electrică sunt invariabile în timp și densitatea curentului electric de conducție este nulă.

1.1. NOTIUNI SPECIFICE

- Prin *sistem* se înțelege un ansamblu de *corpuri și câmpuri*; acestea alcătuiesc elementele sistemului.
- Prin *sistem fizic* se înțelege sistemul în care au loc numai fenomene fizice.
- Ca element component al sistemelor fizice, *câmpul* este o *formă de materie* (deosebită de substanța corpurilor, și există și în vid).

Convențional, prin *vid* se înțelege o regiune a spațiului lipsită de corpuri, de particule de substanță, dar care conține alte forme de materie (*exemplu*: câmp electromagnetic).

Fizic, noțiunea de *câmp* are semnificația de *regiune din spațiu unde se manifestă anumite proprietăți*.

- *Câmpul electromagnetic* este o formă de materie care poate exercita forțe și momente (acțiuni ponderomotoare) asupra corpurilor; el are două aspecte particulare: *câmpul electric și câmpul magnetic*. Cele două câmpuri se manifestă simultan, dar în anumite condiții poate exista numai unul dintre câmpuri.
- *Fenomenele fizice* sunt transformări care au loc în sisteme fizice, fără modificarea structurii substanțelor din care sunt alcătuite elementele supuse transformării.
- *Fenomenele electromagnetice* sunt fenomene fizice care, spre deosebire de alte fenomene fizice (optice, mecanice, termice etc.) cu puține excepții, nu sunt percepute direct de către organele de simț ale omului și studiul lor este mai dificil. Mai comod și cu mai mare relevanță practică este studiul forțelor, momentelor etc. la care sunt supuse corpurile situate în regiunile spațiului unde există stări electrice sau magnetice (stări electromagnetice).

- Într-un sistem fizic se poate produce un fenomen electromagnetic numai dacă cel puțin unul dintre elementele sistemului este un corp aflat în stare electro-magnetică sau este un câmp electromagnetic.

- Prin *starea unui sistem fizic* se înțelege un anumit moment concret, în care se află simultan toate elementele sistemului.
- Toate însușirile măsurabile pe care le au elementele sistemului într-o stare oarecare se numesc *mărimi de stare*.

Orice mărime de stare, care se referă la o proprietate definită într-un punct al unui element dintr-un sistem fizic, este *mărime locală* sau *mărime punctuală*.

Orice mărime de stare, care se referă la o proprietate definită într-o zonă, un domeniu dintr-un element al unui sistem fizic, este o *mărime de stare globală*.

Mărimile de stare pot fi *scalare* sau *vectoriale*. Modul de variație în timp a mărimilor caracteristice determină anumite regimuri de stare a sistemelor fizice:

- *regimul static* – toate elementele de stare rămân constante în timp și nu se produc schimbări de energie între sistem și exterior;
 - *regimul staționar* – toate mărimile de stare rămân constante în timp, dar se produc schimburi de energie între sistem și exterior;
 - *regimul cvasistaționar* – mărimile variază lent în timp;
 - *regimul variabil sau nestaționar* – cel puțin una din mărimile de stare este variabilă.
- Variația în timp a mărimilor de stare poate fi descrisă de funcții matematice; în anumite cazuri regimul este denumit după aceste funcții. Astfel, dacă toate mărimile de stare sunt descrise de funcții sinusoidale, de frecvență f , regimul este *regim sinusoidal*.

- *Mărimile de stare macroscopice*, se referă la proprietăți ale elementelor (corpuri și câmpuri) unui sistem fizic, care pot fi măsurate direct. Ele sunt necesare pentru studiul fenomenelor fizice, care pot fi caracterizate prin legi, teoreme, principii.

În teoria macroscopică (în care se operează cu mărimi de stare macroscopice) nu se ia în considerare structura internă a substanței corporilor și fiecare corp este un domeniu material cu *structură continuă*.

Teoria microscopică, operează cu *mărimi de stare microscopice*, care nu pot fi măsurate direct și consideră corporile macroscopice cu *structură discretă* (compuse dintr-un număr infinit de particule microscopice). Prin *teoria microscopică* se pot explica mecanismul de producere și cauzele fenomenelor fizice.

1.2. DEFINIREA GLOBALĂ A MĂRIMILOR DE BAZĂ

Mărimile primitive (de bază) sunt mărimi definite prin abstractizare, prin *extragerea conchuziilor esențiale* din foarte multe experiențe și experimente în care intervin numai acele proprietăți ale fenomenelor caracterizate de aceste mărimi.

Cele mai importante mărimi de stare primitive care caracterizează în teoria macroscopică starea elementelor din sistemele fizice în care se produc fenomene electomagnetic sunt menționate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Denumirea mărimii	Simbolul mărimii	Elementul din sistem caracterizat	Domeniul electric
sarcina electrică (adevărată)	q sau Q	corp în stare de încărcare electrică	electrostatică
momentul electric	\vec{p}	corp în stare de polarizare	electrostatică
intensitatea curentului electric de conductie	i	corp conductor în stare electrocinetică	electrocinetică
momentul magnetic	\vec{m}	corp în stare de magnetizare	magnetostatică
intensitatea câmpului electric în vid	\vec{E}_v	câmpul electric	electrostatică
inducția câmpului magnetic în vid	\vec{B}_v	câmpul magnetic	magnetostatică

Mărimile deriveate se definesc în funcție și de alte mărimi de bază.

Mărimi de bază și principale din electrostatică

Aceste mărimi care caracterizează stări ale elementelor unui sistem fizic, specifice producerii fenomenelor electrostatice sunt enumerate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

Denumirea mărimii	Simbol	Proprietatea caracterizată
Sarcina electrică	q sau Q	Starea de încărcare electrică a unui corp
Momentul electric	\vec{p}	Starea de polarizare electrică a unui mic corp polarizat
Intensitatea câmpului electric	\vec{E}	Starea câmpului electric staționar într-un punct
Inducția electrică	\vec{D}	Starea câmpului electric staționar într-un punct
Polarizația electrică	\vec{P}	Starea de polarizare a unui corp într-un punct

Rețineți!

- Mărimile primitive considerate ca mărimi de bază în electrostatică sunt: **sarcina electrică (adevărată), momentul electric, intensitatea câmpului electric în vid.**
- Mărimile primitive (de bază) din electrostatică s-au introdus prin studiul efectelor fenomenelor electromagnetice și sunt exprimate în raport cu mărimile neelectrice care caracterizează aceste efecte (*exemplu*: forțe, cupluri).
- Definirea fiecărei mărimi se va face concomitent cu analiza stărilor specifice pe care acestea le caracterizează în sistemele electromagnetice.
- În Sistemul Internațional de Unități de măsură (SI), se folosește numai **intensitatea curentului electric** ca unitate de măsură de bază.

1. Precizați ce se înțelege prin sistem electric.

2. Selectați răspunsul corect.

Câmpul electromagnetic este:

- a. fenomen fizic;
- b. componentă a unui sistem fizic;
- c. o stare a substanței;
- d. o stare a materiei.

3. Dați exemple din activitatea practică unde, în jurul unor corpură ați sesizat forțe exercitate asupra altor corpură; identificați natura forțelor.

4. Precizați ce este vidul.

5. Precizați asemănările și deosebirile între regimul static și regimul staționar.

6. Comparați teoria macroscopică și teoria microscopică aplicate la studiul fenomenelor electromagnetice.

7. Justificați modalitatea prin care s-au introdus și s-au exprimat mărimile primitive din electrostatică.

8. Selectați răspunsul corect.

Starea electrică a unui corp este caracterizată prin mărimi:

- a. scalare; b. vectoriale; c. globale.

9. Selectați răspunsul corect.

Mărimile de stare ale câmpului electric staționar sunt mărimi:

- a. locale; b. vectoriale; c. globale.

10. Dați exemple din natură de fenomene electromagnetice.

1.3. STĂRI ALE CORPURILOR SPECIFICE PRODUCERII FENOMENELOR ELECTROSTATICE

Fenomenele electrostatice sunt produse de corpură imobile în *stare electrică invariabilă* în timp.

Starea electrică se întâlnește la:

- corpură încărcate electric (electrizate);
- corpură polarizate electric.

• Starea electrică a unui corp se constată prin *acțiunile ponderomotoare* pe care, în anumite condiții, le suportă corpul, sau le exercită asupra altor corpură prin forțe sau cupluri care nu sunt nici de natură gravitațională, nici de natură mecanică sau termică.

Rețineți!

- În mod natural, majoritatea corpurilor nu sunt în stare de încărcare electrică, (electrizare) dar pot ajunge în această stare prin anumite procedee.
- Starea de polarizare electrică a corpurilor este diferită de starea de încărcare electrică și poate exista permanent sau, în anumite condiții, numai temporar.

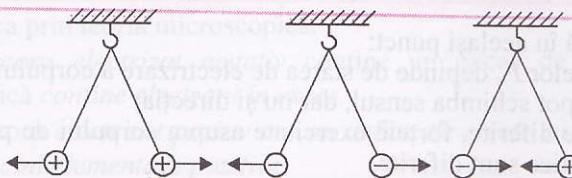
1.3.1. Starea de încărcare electrică

Încărcarea electrică a unui corp se obține prin: frecarea cu alt corp, contact cu alte corpură încărcate electric, plasarea în vecinătatea unui corp încărat electric (inducție electrică).

Prin activități experimentale se pot evidenția aceste modalități de încărcare electrică a corpurilor, precum și forțele electrice exercitate între ele.

Rețineți!

- Pe două coruri care au fost frecate unul de celălalt apar simultan stări de electrizare diferite, fapt care se constată prin apariția forțelor de atracție între cele două coruri.
- Prin contactul unui corp neutru cu un corp electrizat, corpul neutru se electrizează în același fel, fapt care se constată prin apariția forțelor electrice de respingere între cele două coruri.
- Un corp neutru se electrizează prin inducție în imediata vecinătate a unui corp electrizat.
- La capetele unui conductor metalic electrizat prin inducție apar ambele stări de electrizare și se mențin într-un sistem fizic izolat atât timp cât este prezent corpul inductor.
- Corpurile în aceeași stare de electrizare se resping între ele, corpurile în stări de electrizare diferite se atrag între ele.



Știați că...

- În timpul furtunilor este periculos să atingeți mase metalice mari; acestea se electrizează prin influență datorită acumulărilor de sarcini electrice la baza norilor.
- Într-o incintă cu pereți subțiri plasată în vid, prin bombardare cu raze gamma, apar perechi de particule cu sarcini egale, de semne contrare și cu mase egale.

DEFINIREA MĂRIMILOR CARE CARACTERIZEAZĂ STAREA DE ÎNCĂRCARE ELECTRICĂ

1.3.2. Mărimi globale ale stării de încărcare electrică. Sarcina electrică

Starea de încărcare electrică a unui corp este caracterizată de mărimea primitivă (de bază) denumită *sarcină electrică* (adevărată) simbolizată q sau Q .

- Pentru introducerea și definirea mărimii de sarcină electrică s-a pornit de la experiențe în care s-au măsurat forțele exercitate de un corp electrizat asupra unui corp de probă.

Corpul de probă, în stări de electrizare diferite, s-a plasat în același punct în apropierea corpului electrizat, apoi într-o singură stare de electrizare, corpul de probă s-a plasat în puncte diferite.

Corpul de probă este un corp metalic sau nemetalic foarte mic, de dimensiuni neglijabile, încărcat electric, susținut cu un fir perfect izolant astfel încât starea lui de electrizare să rămână constantă. Starea de electrizare a corpului de probă este astfel aleasă încât nu modifică, practic, starea inițială a corpului electrizat.

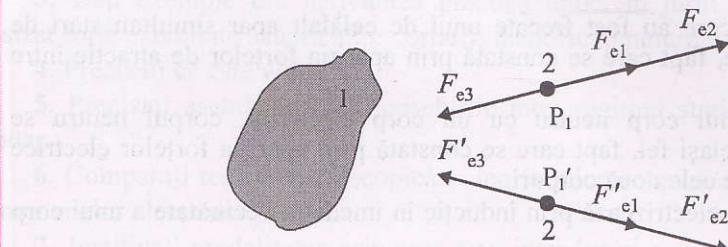


Fig. 1.2. Forțe electrice exercitate de un corp electrizat asupra unor coruri de probă:

1 – corp electrizat; 2 – corp de probă; P_1, P_1' – puncte în apropierea corpului electrizat;

F_{e1}, F_{e2}, F_{e3} – forțe electrice exercitate în punctul P_1 asupra corpului de probă aflat în stările de electrizare S_{e1}, S_{e2}, S_{e3}

$F'_{e1}, F'_{e2}, F'_{e3}$ – forțe electrice exercitate în punctul P_1' asupra corpului de probă aflat în stările de electrizare S_{e1}, S_{e2}, S_{e3}

S-a constatat că în același punct:

- mărimea forțelor F_e depinde de starea de electrizare a corpului de probă;
- forțele F_e își pot schimba sensul, dar nu și direcția;
- pentru puncte diferite, forțele exercitate asupra corpului de probă în stări electrice identice sunt diferite.

În același punct se poate scrie:

$$\frac{F_{e2}}{F_{e1}} = \frac{F'_{e2}}{F'_{e1}} \text{ sau } \frac{F_{e3}}{F_{e1}} = \frac{F'_{e3}}{F'_{e1}}.$$

Relațiile de mai sus au permis asocierea valorilor numerice ale unei *mărimi care caracterizează stările de electrizare a corpului de probă, proporțional cu valorile numerice ale forțelor electrice exercitate asupra lui de corpul încărcat electric*.

Această mărime se numește *sarcina electrică* și relația de proporționalitate se poate scrie:

$$\frac{F_{e2}}{F_{e1}} = \frac{F'_{e2}}{F'_{e1}} = kq(S_{e2} \cdot S_{e1}). \quad (1.1)$$

• Raportul valorilor numerice ale forțelor cu care corpul electrizat acționează asupra corpului de probă nu depinde de punctul considerat ci numai de *starea de încărcare electrică a corpului de probă*.

- *Sarcina electrică este o mărime primitivă (de bază), scalară definită pentru întregul corp.*
 - Unitatea SI de sarcină electrică este coulombul (simbol C).
 - *Sarcina electrică ce caracterizează numai starea de încărcare electrică a unui corp se numește sarcină electrică adevărată.*

- Forțele cu care corpul electrizat acționează asupra corpului de probă cu aceeași stare de încărcare electrică, plasat în puncte diferite, sunt diferite. $(F_{e1} \neq F''_{e1}; F_{e2} = F'_{e2}; F_{e3} \neq F'_{e3})$.

Respect pentru oameni și cărti

- Forța cu care un corp electrizat acționează asupra unui corp de probă situat în vid în apropierea sa este proporțională cu *sarcina electrică a corpului de probă* și cu o valoare vectorială, locală, caracteristică punctului considerat.

Cea mai mică valoare a sarcinii electrice determinate experimental este valoarea sarcinii electrice elementare e .

$$e \approx 1,8 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Tot experimental s-a constatat că un câmp electric deviază în sensuri opuse traiectoriile unui proton și ale unui electron plasați în câmp.

- Convențional s-a considerat că starea electrică a unui electron este caracterizată de *sarcina electrică elementară negativă* ($-e$), iar sarcina electrică a unui proton este caracterizată de *sarcina electrică elementară pozitivă* ($+e$).

- Orice sarcină electrică poate fi privită ca un multiplu întreg al sarcinii electrice elementare, adică sarcina electrică este o *mărime discretă*.

- Sarcina electrică a particulelor elementare (electroni, protoni) este considerată *sarcină electrică punctiformă* având în vedere dimensiunile neglijabile ale acestor particule.

La scară macroscopică, în experiențe, *putem considera sarcină electrică punctiformă, sarcina electrică a unor corpuri de dimensiuni foarte mici: bobîte de soc, sfere metalice, picături fine de ulei etc.*

- Fenomenele observate în experimentele de obținere a stării de electrizare se pot explica prin teoria microscopică.

- Un corp *electrizat negativ* conține un exces de sarcini elementare negative, adică *conține electroni în exces*.

- Un corp *electrizat pozitiv* are un deficit de electroni, adică el *conține un exces de sarcini elementare pozitive*.

- Un corp *neutru electric* *conține un număr de electroni egal cu numărul de protoni*.

Să rezolvăm împreună

1. Atomul de heliu și de litiu au configurațiile de mai jos.

Calculați sarcina electrică a nucleului fiecărui atom.

Rezolvare

Sarcina nucleului este pozitivă și este egală cu $Z \cdot e$, unde Z este numărul de ordine egal cu numărul de electroni.

$$q_{\text{He}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}; q_{\text{H}} = 3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 4,8 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

2. Un corp de probă are sarcina $q = +3,2 \mu\text{C}$. Calculați numărul de electroni pierduți de corp.

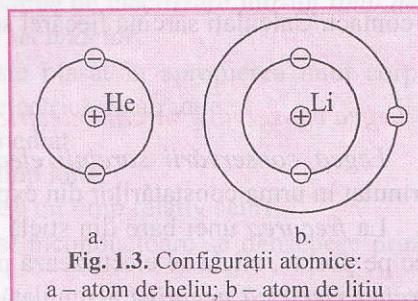


Fig. 1.3. Configurații atomice:
a – atom de heliu; b – atom de litiu

Numărul de electroni rezultă din împărțirea sarcinii corpului de probă la valoarea sarcinii elementare.

$$n = \frac{3,2 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2 \cdot 10^{13} \text{ electroni.}$$

3. Un corp electrizat are sarcina electrică $q = -1\text{C}$.

Calculați numărul de electroni pe care îi conține corpul în exces.

Rezolvare

$$n = \frac{q}{e} = \frac{-1\text{C}}{-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \approx 625 \cdot 10^{16} \text{ electroni.}$$

Verificarea și aplicarea competențelor

1. Selectați răspunsul corect.

Forța pe care un corp o exercită asupra altui corp este o mărime:

- a. mecanică; b. electrică; c. de natură mecanică; d. de natură electrică.

2. Precizați care sunt stările electrice ale corpurilor.

3. Precizați trei modalități de încărcare electrică a corpurilor.

4. Descrieți experimentul care a condus la definirea mărimii denumite sarcina electrică.

5. Definiți sarcina electrică.

6. Realizați un corp de probă.

7. Completați tabelul de mai jos.

Particula elementară	Elec-tron	Proton	Neutron	Atom de hidrogen	Atom de litiu	Atom de cupru
Sarcina electrică						
Masa						

8. Calculați sarcina electrică a unui μg de electroni.

9. Un corp neutru este electrizat cu sarcina $q = -1\text{C}$. Calculați variația masei.

10. Două sfere metalice cu sarcinile $q_1 = -14,7\text{pC}$ și $q_2 = +18,3\mu\text{C}$ sunt puse în contact. Calculați sarcina fiecărei sfere după contact.

Legea conservării sarcinii electrice totale în sisteme fizice izolate

Legea conservării sarcinii electrice totale în sisteme fizice izolate s-a formulat în urma constatărilor din experiențe pe care deja le cunoașteți.

La frecarea unei bare din sticlă cu o bucată de postav, electronii din sticlă trec pe postav, sticla se electrizează pozitiv, iar postavul se electrizează negativ: sarcina electrică negativă acumulată de postav este egală cu sarcina electrică pozitivă apărută pe bara de sticlă.

- Prin frecare, apar ambele stări de electrizare; sarcina electrică totală este constantă dacă nu mai intervin alte influențe.