

- ELECTRICITATE - CL. AX^A -

1985

PROF. DUMITRU ROȘCA

1. SARCINA ELECTRICA

1. Când a fost observată electrizarea prin frecare, de
cine a fost studiată, la ce corpuri.

În antichitate, sec VI î.e.n., Tales din Milet
a studiat proprietatea chiliubarului de a atra-
ge corpuri ușoare când este frecat.

2. Proveniența cuvântului „electrizare”.

De la grecescul „electron” care înseamnă
chiliubar.

3. Procedee de electrizare. Mod de manifestare.

Prin frecare, prin contact, prin inducție (influență)
corpurile sunt aduse într-o stare specială în care
interacționează între ele prin forțe de atracție sau
repulsie, numite forțe de interacțiune electrică.

4. Necesitatea introducerii noțiunii de sarcină electri-
că. Două feluri de sarcină electrică, pozitivă și negativă.

Pentru exprimarea cantitativă a proprietății
pe care o manifestă corpurile electrizate este ne-
cesară definirea unei noi mărimi fizice, pe care
o numim sarcină electrică. Întrucât între cor-
purile electrizate există două feluri de interac-
țiuni, atracție și repulsie, se poate presupune

ca există două feluri de sarcină electrică, denumite pozitivă și negativă.

5. Interacțiunea dintre sarcinile electrice.

Sarcinile electrice de același fel se resping, cele contrare se atrag (rezultă experimental).

6. Definiția sarcinii electrice în sistemul internațional.

a) În S.I. sarcina electrică, notată Q (sau q), este mărime derivată, definindu-se prin intermediul intensității I a curentului electric (I este mărime fundamentală în S.I.), cu ajutorul relației:

$$Q = I \cdot t$$

unde t este timpul în care curentul de intensitate I transportă prin o secțiune transversală a conductorului sarcina totală Q .

7. Definiția unității de măsură pentru Q în S.I.

Unitatea de măsură în S.I. pentru Q se numește coulomb, cu simbolul C , și rezultă din:

$$[Q]_{SI} = [I]_{SI} \cdot [t]_{SI} ; \quad [C = A \cdot s]$$

Un coulomb este sarcina electrică transportată prin secțiunea transversală a unui conductor de un curent electric staționar, cu intensitatea de un amper, în timp de o secundă.

8. Neajunsurile definițiilor de mai sus pentru

sarcina electrică Q și unitatea ei de măsură, C .

Aceste definiții s-au născut prin faptul că există posibilitatea stabilirii cu un mare grad de precizie a unității de măsură pentru intensitatea I a curentului, amperul.

Ole au însă dezavantajul de a ^{încredința} stabili continuitatea unor noțiuni recunoscută încă, sarcina electrică și coulombul, folosind noțiuni tot recunoscute încă, intensitatea curentului și amperul (și curentul electric încă nu a fost definit). Ca urmare, înțelesul noțiunilor ce s-a dorit a fi precizate rămâne complet recunoscut și definițiile prezentate sunt ... ca și inexistente.

9. Definiția sarcinii electrice și a unității ei de măsură pe baza interacțiunii dintre corpurile electrice
- Proprietatea dobândită de corpuri prin electrizare și care se manifestă prin forțe de interacțiune electrică (atracție sau respingere) între aceste corpuri, o anumită sarcină electrică, notând-o cu Q (sau q).
 - Unitatea de măsură pentru sarcina electrică se numește coulomb și se notează cu C .

Spunem că un corp punctiform electrizat

are sarcina electrică egală cu cea Coulomb, dacă așezat în vid la distanță de un metru de un alt corp punctiform, având aceeași sarcină electrică ^{în modul} cu primul, ele se atrag sau se resping cu o forță de $9 \cdot 10^9 \text{ N}$.

10. Sarcina electrică elementară

Cea mai mică sarcină electrică ^{în modul,} pusă în evidență pînă în prezent, este aceea a electronului: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (cu „e” s-a notat modulul sarcinii electronului. Această va fi „-e”).

11. Explicarea electrizării corpurilor pe baza cunoștințelor despre structura substanței.

Electrizarea pozitivă se explică prin lipsa de electroni, iar cea negativă prin excesul de electroni pe corp, față de starea lui neutră (cînd numărul electronilor este egal cu al protonilor conținuți în nucleele atomilor).

12. Sarcina electrică, mărime cuantificată.

Din explicația anterioară a electrizării deducem că ^{modulul} sarcinii electrice Q a unui corp poate fi numai multiplu întreg ^{modulului} a sarcinii electronului:

$$|Q| = n \cdot e$$

O mărime care nu poate lua orice valori, ci numai valori anumite se numește un ser discontinuu, se numește în fizică mărime cuantificată.

Deci sarcina electrică Q este o mărime cuantificată.

13. Sistem izolat din punct de vedere electric.

Este un sistem ^{fizic} care nu schimbă sarcina electrică cu exteriorul.

14. Principiul conservării energiei electrice.

Într-un sistem fizic izolat electric de exterior

Suma algebrică a sarcinilor electrice ale corpurilor din sistem rămâne constantă.

Observăm că sarcina electrică se poate redistribui între corpurile sistemului, fără ca valoarea ei totală să se modifice.

15. Sarcina electrică are totdeauna un suport material.

Fiind o proprietate a corpurilor, sarcina electrică nu poate fi desprinsă de corpuri. În natură nu putem întâlni sarcini electrice în afara corpurilor, care să nu aibă un suport material.

16. Apariția unei sarcini electrice Q pe un corp, înseamnă apariția sarcinii $-Q$ pe un alt

corp (sau într-o altă regiune a aceluiași corp).

Să presupunem $Q > 0$. Urmează să se de pe corpul respectiv (sau dintr-o parte a sa) au plecat un număr de electroni, corpul rămânând electropozitiv. Electronii „plecați” nu pot dispărea, ci trec în altă parte a corpului sau pe un alt corp, provocând acolo un surplus de electroni. Astfel, la locul sursii electronilor apare sarcina $-Q$, negativă, egală în modul cu cea pozitivă rămasă la locul de plecare.

4.04.1985

2. LEGEA LUI COULOMB

EXPRESIA FORTEI DE INTERACȚIUNE ELECTRICALĂ

1. Expresia forței electrostatische sau legea lui Coulomb.

Charles Auguste de Coulomb (1736-1806) a determinat experimental, cu ajutorul unei balante de torsune, expresia cantitativă a forței de interacțiune electrică $\|\vec{F}\|$ dintre două corpuri punctiforme, având sarcinile electrice $|Q_1|$ și $|Q_2|$, aflate la distanță r unul de celălalt, sumată legea lui Coulomb:

$$\|\vec{F}\| = k \frac{|Q_1| |Q_2|}{r^2}$$

unde k este o constantă de proporționalitate, specifică mediului în care se află sarcinile.

2. Forța electrostatică funcție de permittivitatea mediului.

În S.I. constanta k se înlocuiește cu ϵ , legate prin relația

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

ϵ este permittivitatea, fiind specifică mediului.

Pentru un mediu omogen oarecare, legea lui Coulomb devine

$$\|\vec{F}\| = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|Q_1| |Q_2|}{r^2}$$

3. Legea lui Coulomb în vid.

$$\|\vec{F}_0\| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

unde ϵ_0 este permitivitatea vidului.

4. Valoarea permitivității vidului.

În principiu poate fi scoasă din ultima relație

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2 \cdot \|\vec{F}\|}$$

marimile din partea dreaptă $|Q_1|, |Q_2|, r$ și $\|\vec{F}\|$ fiind determinabile experimental. Se găsește

$$\epsilon_0 = 8,856 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

După definiția ulterioară a faradului, F , se va vedea că

$$\frac{C^2}{N \cdot m^2} = \frac{F}{m} \quad \text{deci}$$

$$\epsilon_0 = 8,856 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$

5. Valoarea lui $k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ în S.I.

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,856 \cdot 10^{-12}} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

6. Expresia legii lui Coulomb în vid folosind valoarea lui k_0

$$\|\vec{F}_0\| = 9 \cdot 10^9 \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

7. Definiția permitivității relative.

Raportul dintre permitivitatea unui mediu și

și permeabilitatea vidului ϵ_0 se numește permeabilitate relativă a mediului respectiv, notată cu ϵ_r .

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Se vede că ϵ_r este o constantă adimensională caracteristică mediului.

8. Determinarea experimentală a permeabilității relative a unui mediu.

Fie $\vec{F}$ și $\vec{F}_0$ forțele de interacțiune electrice între două sarcini punctiforme Q_1 și Q_2 , plasate la distanță r una de alta, într-un mediu oarecare, respectiv în vid. Se observă:

$$\frac{\|\vec{F}_0\|}{\|\vec{F}\|} = \frac{\frac{|Q_1 Q_2|}{4\pi\epsilon_0 r^2}}{\frac{|Q_1 Q_2|}{4\pi\epsilon r^2}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r \quad \text{adică} \quad \boxed{\epsilon_r = \frac{\|\vec{F}_0\|}{\|\vec{F}\|}}$$

Cum $\|\vec{F}\|$ și $\|\vec{F}_0\|$ sunt determinabile experimental, se calculează ϵ_r pentru fiecare mediu. Cu valorile obținute se întocmesc tabele.

9. Calculul permeabilității (absolute) unui mediu.

Știind $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ avem $\boxed{\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$

Dar ϵ_0 este cunoscut, iar ϵ_r se ia din tabele.

10. Legea lui Coulomb funcție de ϵ_r .

$$\boxed{\vec{F} = \frac{|Q_1 Q_2|}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r r^2}} \quad \text{sau} \quad \boxed{\vec{F} = 9 \cdot 10^9 \frac{|Q_1 Q_2|}{\epsilon_r r^2}}$$

11. Permeabilitatea relativă a vidului și aerului.

Pentru vid: $\epsilon_r = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_0} = 1$ deci $\boxed{\epsilon_r = 1}$

Pentru aer se consideră aproximativ $\boxed{\epsilon_r = 1}$

Pentru alte medii $\boxed{\epsilon_r > 1}$

12. Semnificația permittivității relative.

Arată de câte ori forța de interacțiune dintre două corpuri încărcate electric este mai mare în vid decât în mediul respectiv.

13. Forma vectorială a legii lui Coulomb.

dacă se
păstrează
aceeași distanță
între corpuri

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_r r^3} \cdot \vec{r}$$

a) Dacă vrem să exprimăm forța $\vec{F}$ cu care sarcina q_1 acționează asupra sarcinii q_2 , alegem punctul O în care se află q_1 ca origine a vectorului de poziție $\vec{r}$ a sarcinii q_2 .

1°) Dacă $q_1 q_2 > 0$

2°) Dacă $q_1 q_2 < 0$



b) Dacă vrem să exprimăm forța $\vec{F}$ cu care sarcina q_2 acționează asupra sarcinii q_1 , alegem originea O a vectorului de poziție $\vec{r}$ a sarcinii q_1 în punctul în care se află q_2 .

1°) Dacă $q_1 q_2 > 0$

2°) Dacă $q_1 q_2 < 0$



4.04.1925

3. INTENSITATEA CÂMPULUI ELECTRIC

1. Modificarea proprietăților fizice ale spațiului din jurul unui corp electrizat. Câmpul electric.

Aceste modificări pot fi puse în evidență cu ajutorul unui corp încărcat electric, de dimensiuni mici, numit corp de probă. Se constată că în fiecare punct din jurul corpului electrizat se exercită forțe asupra corpului de probă.

Cum se explică exercitarea interacțiunii „la distanță” dintre corpul electrizat și corpul de probă? Fenomenul este posibil dacă admitem că în jurul oricărui corp electrizat există o formă fizică a materiei, numită câmp electric (nesesizabilă organelor noastre de simț), care se manifestă prin acțiuni asupra corpurilor electrizate.

2. Câmpul electrostatic.

Este câmpul produs de un corp electrizat aflat în repaus. El este constant în timp.

3. Forța electrică ne poate caracteriza cantitativ proprietățile câmpului într-un punct al său.

Să luăm ca exemplu câmpul electric din jurul unui corp punctiform, având sarcina Q .

Fut. un punct la distanță r de corp vom avea

$$F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Se vede că F depinde de sarcina genera-
toare de câmp Q , de distanță r a punctului din
câmp la sarcina punctiformă q , dar și de sar-
cina q a corpului de probă. Ori, pentru a per-
tea caracteriza câmpul într-un punct al său, mă-
rimea fizică utilizată în acest scop trebuie să nu
depindă de proprietățile corpului de probă, ci
doar de cele ale câmpului.

4. Intensitatea câmpului electric într-un punct
al său.

Observând că raportul $\frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ este indepen-
dent de corpul de probă, ci doar de sarcina
sa Q și de poziția punctului în câmpul generat de
ea, acesta poate fi folosit pentru definirea unei mărimi
fizice care să caracterizeze câmpul în punctul considerat.

Numim intensitate a câmpului electric, ^{într-un punct} notată
cu $\vec{E}$, mărimea fizică vectorială definită prin

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

unde $\vec{F}$ este forța electrică care acționează din

partea câmpului sarcinii Q asupra unui corp de probă plasat în acel punct, q fiind sarcina corpului de probă.

5. Unități de măsură pentru intensitatea câmpului electric.

Relația de definiție a lui $\vec{E}$ poate fi scrisă scalar:

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

unde E și F sunt componentele vectorilor $\vec{E}$ și $\vec{F}$ pe dreapta suport a lui $\vec{F}$, pe care se ia ca origine (cazul sarcinii Q punctiforme) punctul în care se află Q și ca sens pozitiv cel de la Q spre punctul în care se calculează $\vec{E}$.

O relație similară se poate scrie între modulele lui $\vec{E}$ și $\vec{F}$ și valoarea absolută a lui q :

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

Din aceste relații se obține:

$$\frac{[E]_{SI}}{[q]_{SI}} = \frac{[F]_{SI}}{[q]_{SI}} = \frac{N}{C}$$

Adică, unitatea SI de intensitate este newton/coulomb.

Vom spune că intensitatea câmpului într-un

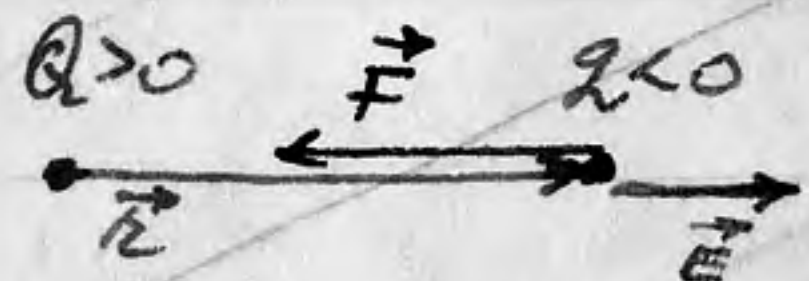
punct al său este de o unitate, fiind asupra unui corp de probă plasat în acel punct, având sarcina de un coulomb, câmpul exercită o forță de un newton.

6. Procedeu practică de determinare a sensului lui $\vec{E}$.

Am $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ și $\vec{F} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r^2} \cdot \vec{r}$, fiind

valabil doar pentru sarcini punctiforme

în considerare toate alternativele posibile pentru q și Q , obținem:



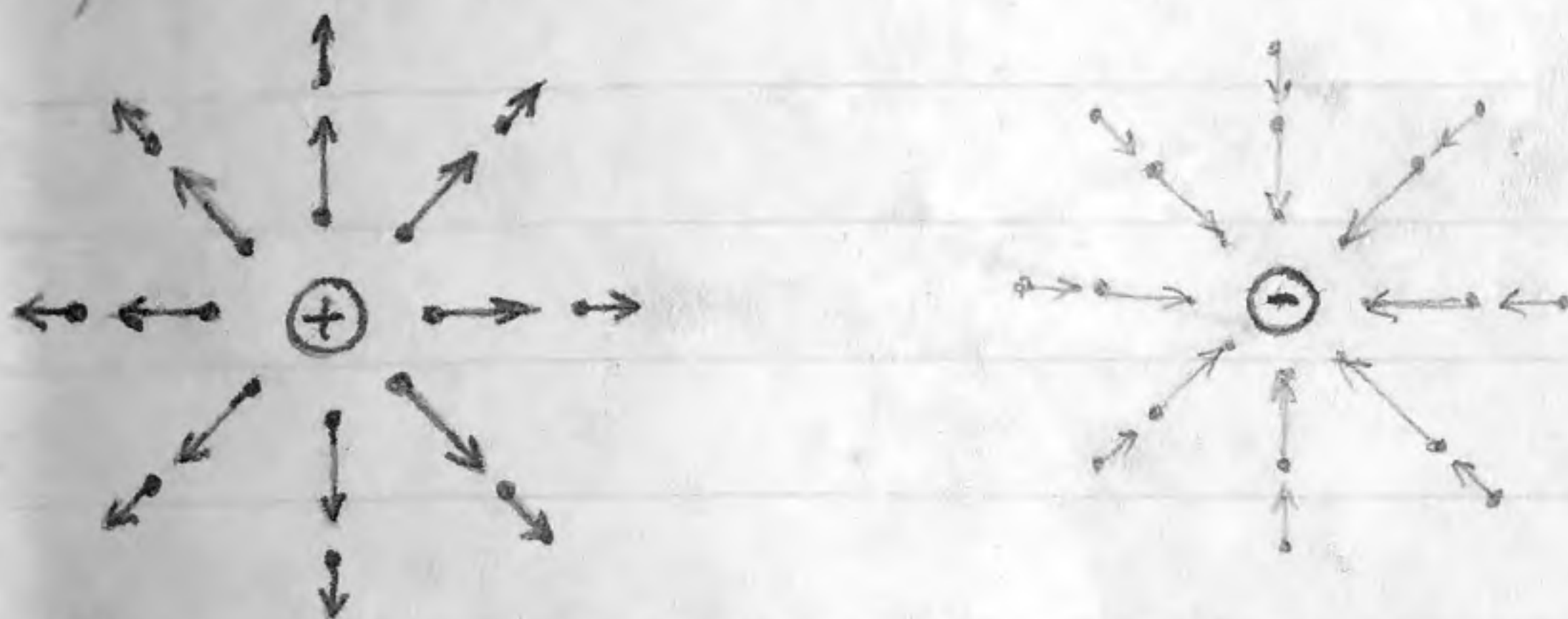
Se constată că sensul vectorului $\vec{E}$ coincide cu sensul forței electrice $\vec{F}$ cu care câmpul electric acționează asupra unui corp de probă cu sarcină pozitivă. (Faptul decurge din definiția lui $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$)

7. Intensitatea câmpului electric generat de corpul punctiform, cu sarcina Q , la distanța r .

a) $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \vec{r}$ și $\|\vec{E}\| = \frac{|Q|}{4\pi\epsilon r^2}$

b) Suportul lui $\vec{E}$ este corpul generator de câmp cu punctul respectiv. Sensul lui $\vec{E}$ depinde de semnul lui Q : de la corp spre

exterior pentru sarcină pozitivă și de la exterior spre corp pentru sarcină negativă.



c) Simetria sferică a câmpului electric al unei sarcini punctiforme, se observă din orientarea radială a lui $\vec{E}$ în jurul sarcinii generatoare de câmp, iar valoarea numerică, $\|\vec{E}\|$, este aceeași în toate punctele situate la o distanță dată de sarcina generatoare

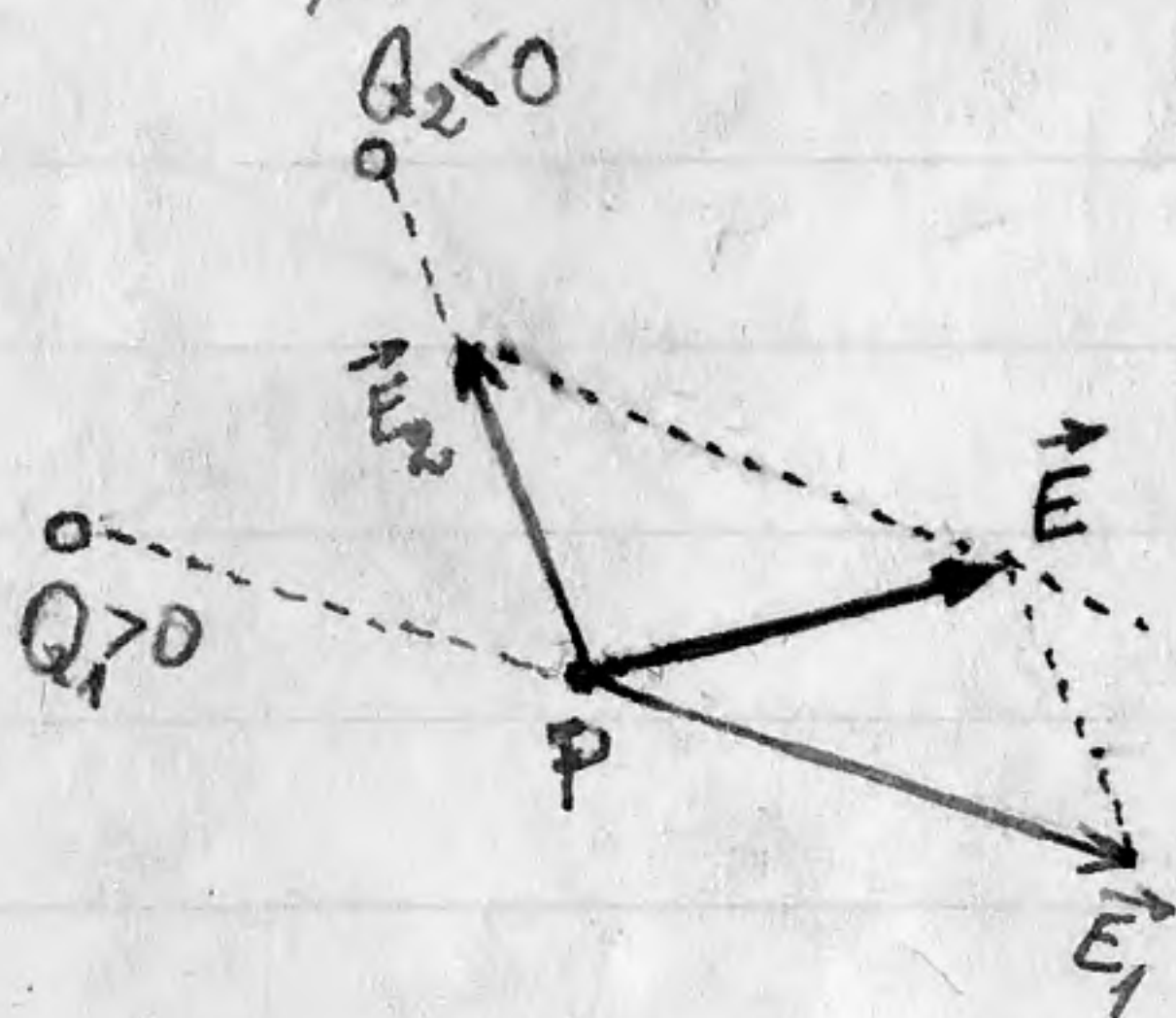
8. Câmpul electric rezultat în urma suprapunerii în același punct a unui număr de câmpuri.

Un număr de corpuri punctiforme încărcate electric generează un câmp al cărui intensitate $\vec{E}$ într-un punct este suma vectorială a intensităților câmpurilor $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$ produse separat de fiecare corp încărcat, în punctul respectiv

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

Acest fapt a fost confirmat experi-

mental și constituie un principiu al fizicii.

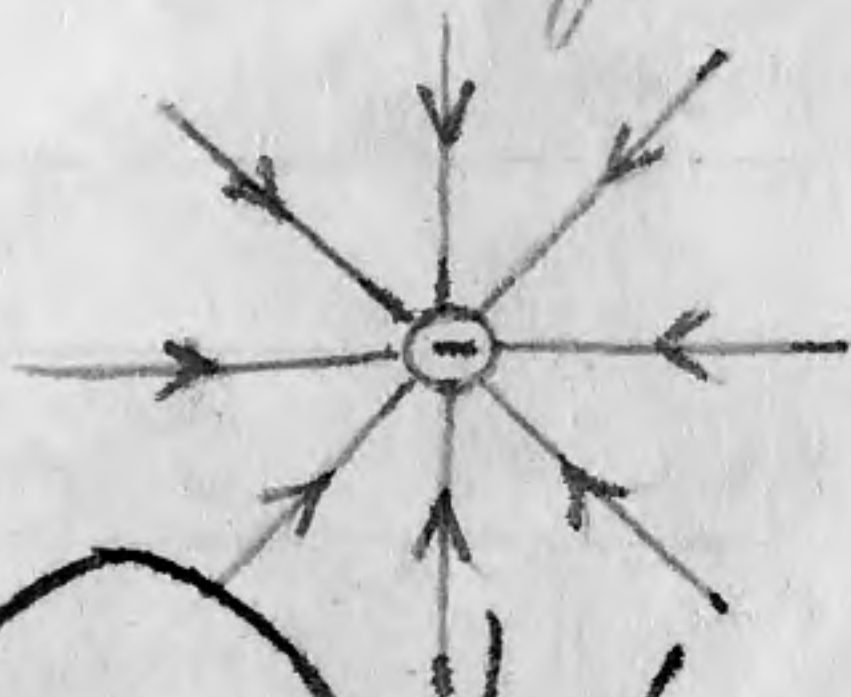
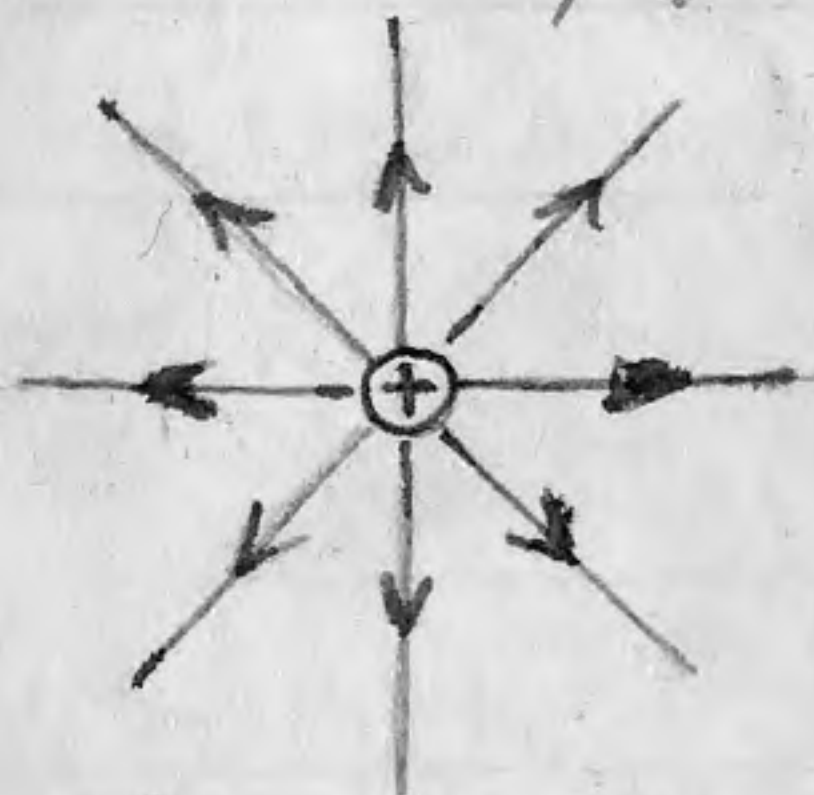


9. Linii de câmp electric.

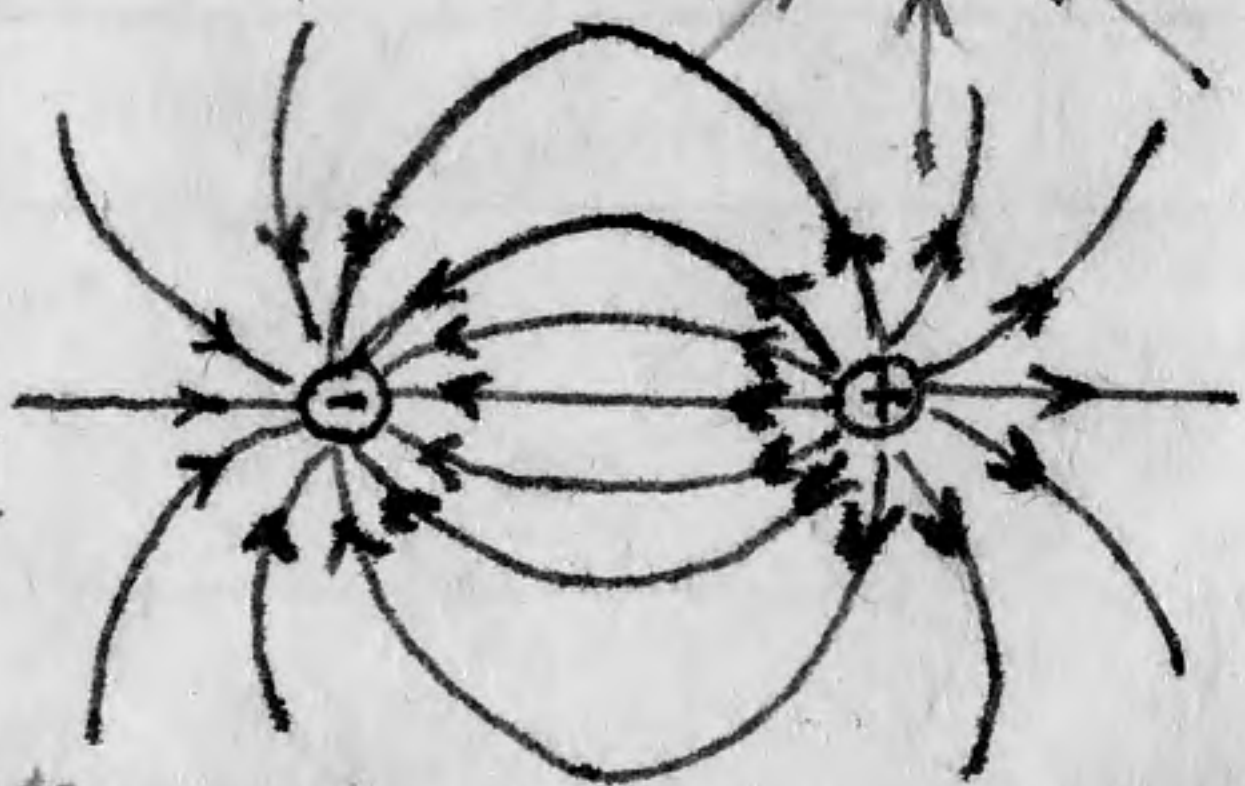
a) Sînt linii tangente în fiecare punct la vectorul intensitate a cîmpului electric, construit în acel punct. Sensul liniilor de câmp este cel în care s-ar deplasa un corp punctiform cu sarcină pozitivă, lăsat liber în câmp.

b) Linii de câmp al unui corp punctiform cu sarcină pozitivă

Linii de câmp al corpului punctiform cu sarcină negativă

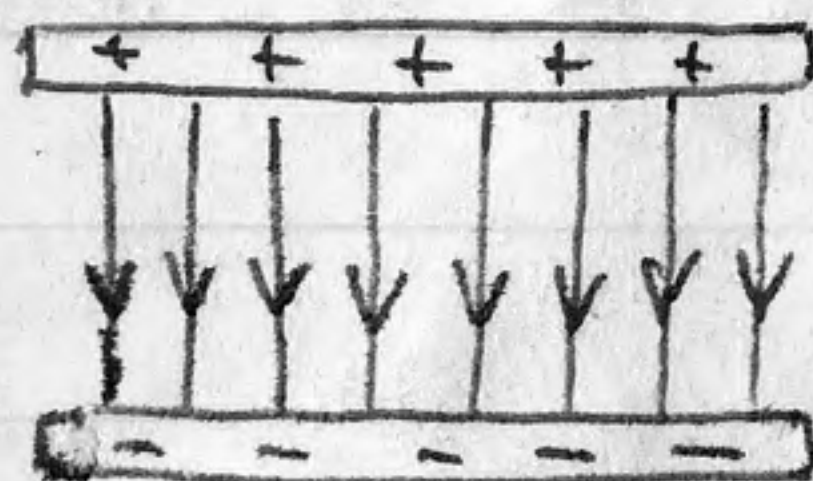


Cîmpul produs de două sarcini punctiforme de sarcini egale și sensuri opuse



10. Câmpul electric uniform.

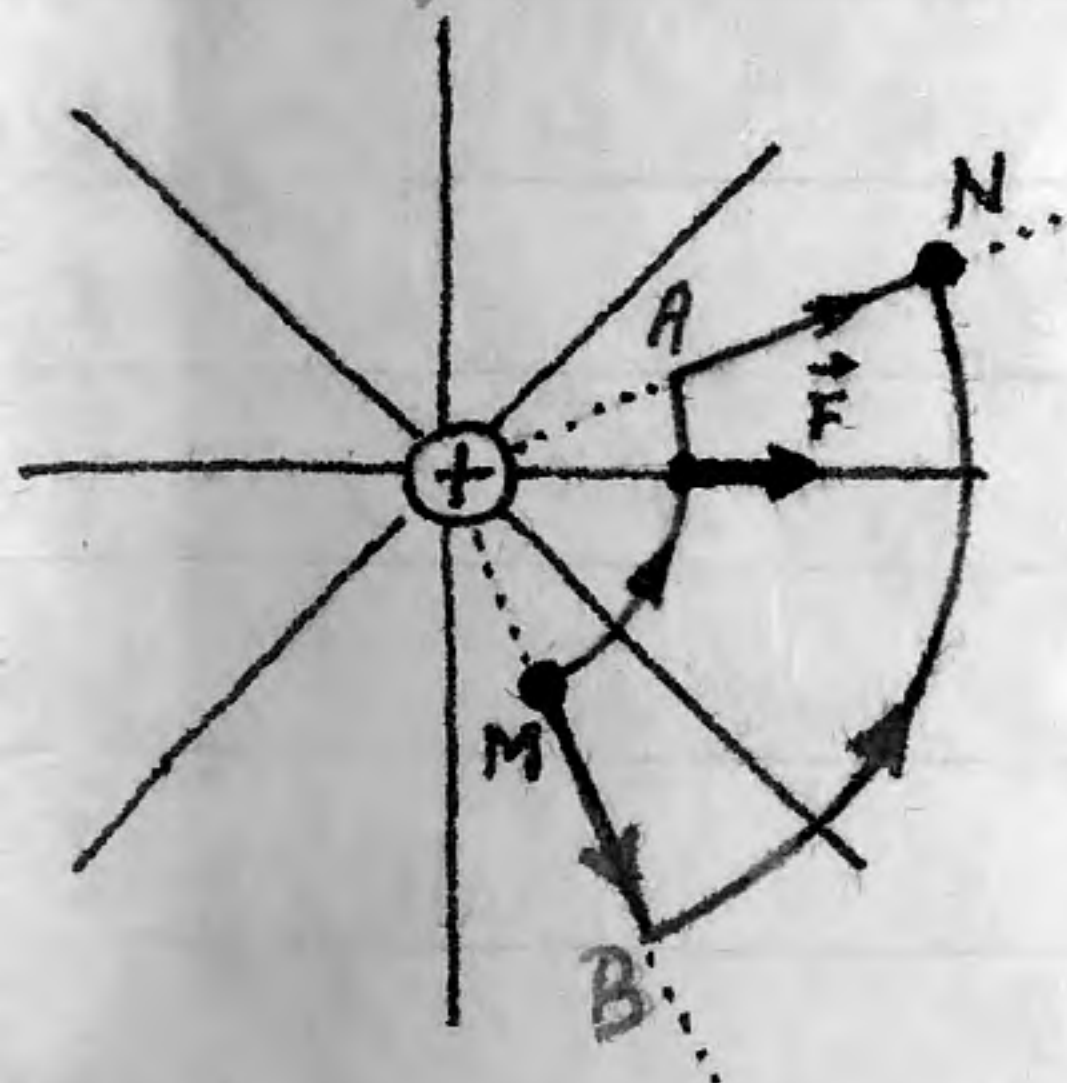
Este câmpul ale cărui linii de câmp sunt paralele și echidistante. Se creează între două plăci metalice, încărcate cu sarcini egale, dar de semne contrare. Vectorul intensitate $\vec{E}$ în acest fel de câmp este constant în fiecare punct.



4. POTENTIAL ELECTRIC

1. Independența lucrului mecanic efectuat de forțele electrice la deplasarea unui corp de probă, încărcat electric, între două puncte ale câmpului electric, de drumul urmat între cele două puncte.

a) Luăm cazul simplu al câmpului sarcinii punctiforme Q , în care sarcina de probă q este deplasată între două puncte oarecare M și N .

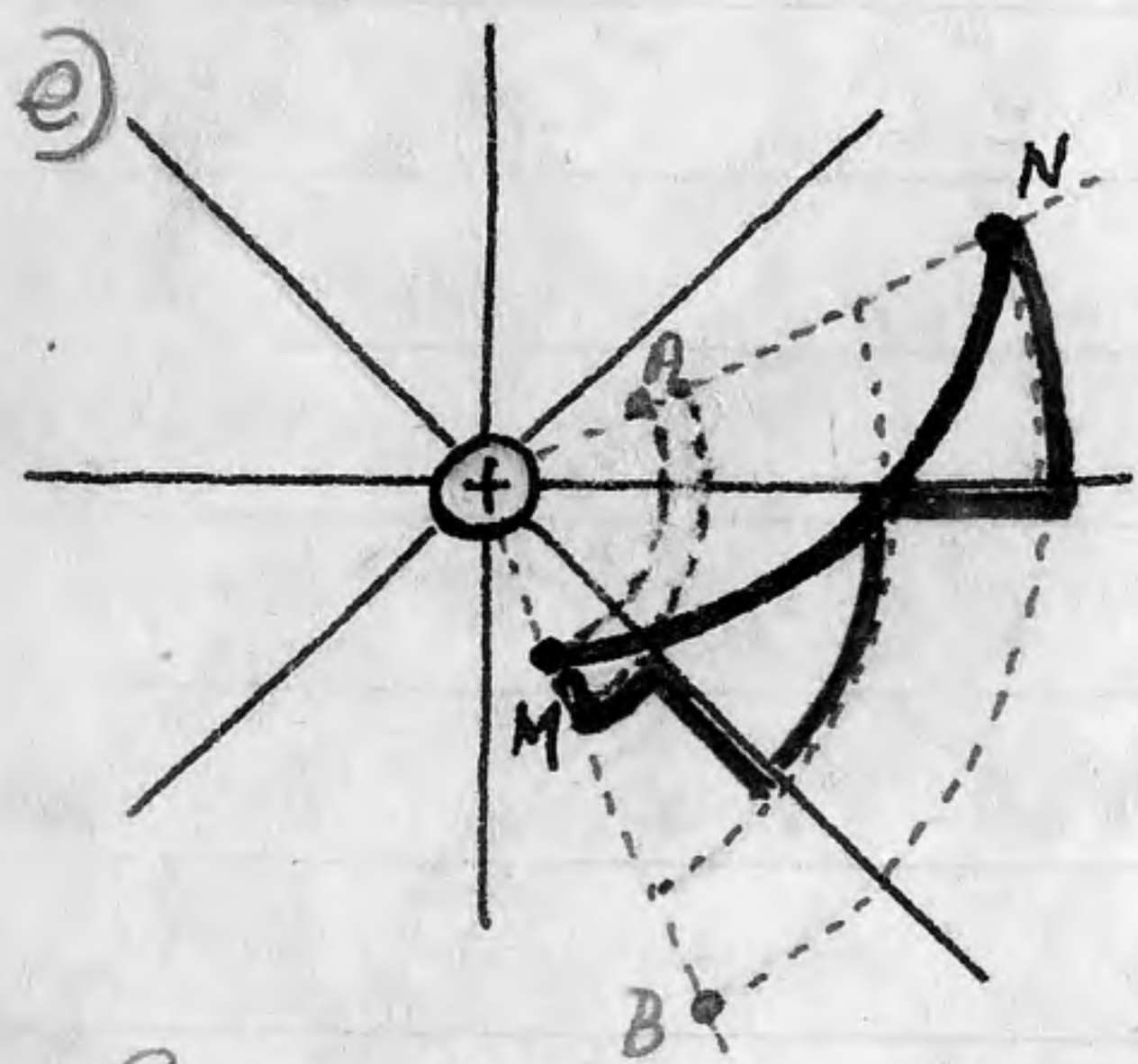


b) Dacă deplasarea are loc pe drumul MAN , forța electrică $\vec{F}$ nu face lucru mecanic pe arcu $\widehat{MA}$, ea fiind în orice moment perpendiculară pe direcția deplasării corpului de probă. Astfel

lucrul mecanic al lui $\vec{F}$ în timpul deplasării sarcinii q pe drumul MAN se reduce la cel efectuat pe segmentul AN .

c) Analog se stabilește că lucrul forței electrice $\vec{F}$ la deplasarea sarcinii q din M în N pe drumul MBN se reduce la cel efectuat pe segmentul MB .

d) Cum segmentele AM și MB sînt congruente și forțele electrice se acționează pe fiecare din ele coîncid (simetria radială a cîmpului), evident, lucrurile mecanice a forțelor electrice exercitate de cîmp sînt identice pe cele două drumuri.



Un drum oarecare de la M la N poate fi descris în orice de multe segmente în lungul liniilor de cîmp și de arce de cerc perpendiculare pe liniile de cîmp.

Pe porțiunile perpendiculare pe liniile de cîmp lucrul mecanic este nul, iar segmentele din lungul liniilor de cîmp au suma lungimilor egală cu lungimea lui AN (sau MB).

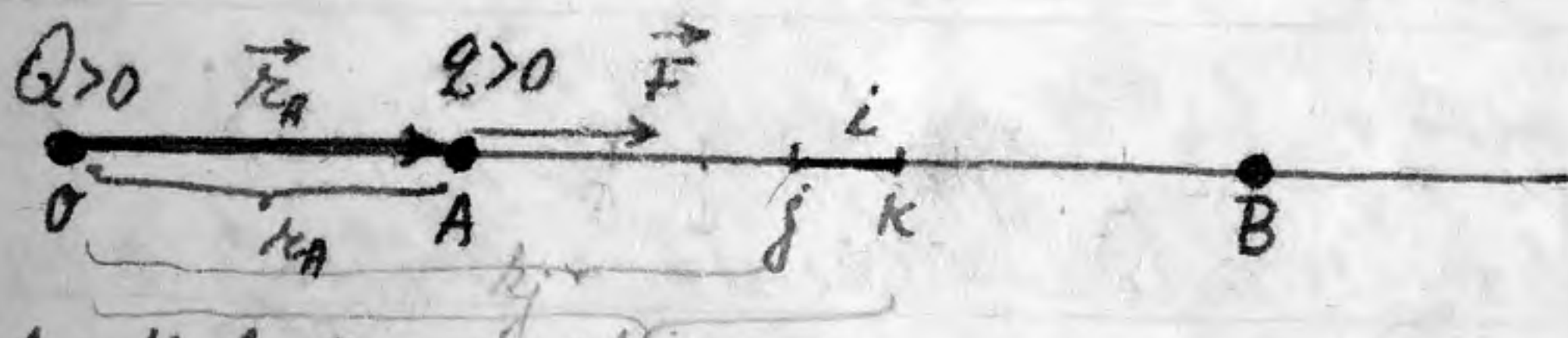
f) Rezultă că lucrul mecanic al forțelor electrice la deplasarea unei sarcini electrice între două puncte M și N nu depinde de drumul urmat, ci de diferența distanțelor acestor puncte la sarcina punctiformă generatoare de cîmp.

2. Caracterul conservativ al forțelor electrostatice și a cîmpului electrostatic.

Se știe că un câmp de forțe se numește conservativ (iar forțele respective se zic conservative), dacă lucrul mecanic al acestor forțe nu depinde de drumul urmat de punctul de aplicare al forței, ci numai de poziția inițială și finală a punctului de aplicare al forței, în câmpul respectiv.

În baza celor arătate la punctul anterior, se vede că un câmp electrostatic este conservativ, iar forțele electrostatice sunt conservative.

3. Calculul lucrului mecanic efectuat de forțele electrice la deplasarea sarcinii q dintr-un punct A , într-un punct B al câmpului electric.



a) Dacă forța electrică $\vec{F}$ are avea modulul F constant în timpul deplasării de la A la B a sarcinii q , lucrul mecanic W_{AB} efectuat de ea s-a calcula înmulțind modulul forței cu deplasarea AB a punctului ei de aplicare.

Aici

$$\frac{F}{A} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_A^2}$$

se vede însă că modulul lui $\vec{F}_i$ variază cu distanța r_i a punctului ei de aplicație, la sarcina punctiformă Q plasată în O . Astfel, L_{AB} nu poate fi calculat prin procedeul menționat.

b) Împărțim AB în n subintervale suficient de mici pentru ca pe fiecare din ele forța $\vec{F}$ să o putem considera practic constantă în modul.

Pe un interval oarecare „ i ” lucrul mecanic va putea fi scris, folosind vectorii de poziție a extremităților r_j, r_k :

$$L_i = F_i (r_k - r_j) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_k^2} (r_k - r_j) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon r_j r_k} (r_k - r_j)$$

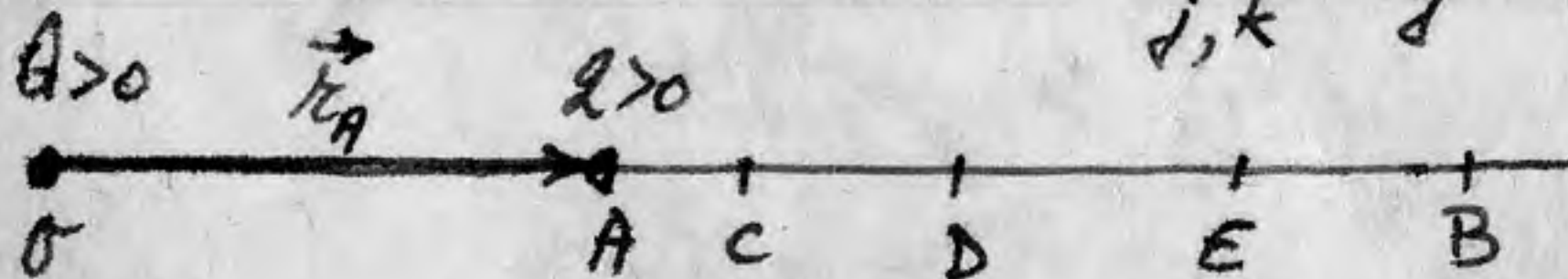
$$L_i = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_j} - \frac{1}{r_k} \right)$$

$r_j \approx r_k$ intervalul fiind foarte scurt.

c) Lucrul mecanic total al forței $\vec{F}$ la deplasarea lui q de la A la B va fi suma lucrurilor mecanice elementare efectuate pe fiecare din intervalele menționate:

$$L_{AB} = \sum_{i=1}^n L_i = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \sum_{j,k} \left(\frac{1}{r_j} - \frac{1}{r_k} \right)$$

Pentru calculul sumei $\sum_{j,k} \left(\frac{1}{r_j} - \frac{1}{r_k} \right)$ observăm:



$$\sum_{j,k} \left(\frac{1}{r_{jk}} - \frac{1}{r_{jk}} \right) = \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_C} \right) + \left(\frac{1}{r_C} - \frac{1}{r_D} \right) + \left(\frac{1}{r_D} - \frac{1}{r_E} \right) + \left(\frac{1}{r_E} - \frac{1}{r_B} \right) =$$

$$= \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_C} + \frac{1}{r_C} - \frac{1}{r_D} + \frac{1}{r_D} - \frac{1}{r_E} + \frac{1}{r_E} - \frac{1}{r_B} = \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}$$

adică $\sum_{j,k} \left(\frac{1}{r_{jk}} - \frac{1}{r_{jk}} \right) = \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}$ care înlocuim în L_{AB} ne dă:

$$L_{AB} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

care este formula căutată.

4. Definiția forței electrice medii ce acționează asupra sarcinii q la deplasarea ei dintr-un punct A într-un punct B al câmpului. Calculul ei.

a) Este o forță constantă (fictivă) $\vec{F}_m$ care deplasând pe q din A în B ar face același lucru mecanic ca și forța variabilă (reală) $\vec{F}$.

b) Notăm: L_F lucrul forței reale $\vec{F}$ pe AB ;
 L_{F_m} lucrul forței medii (fictive) $\vec{F}_m$ pe AB .

Aveam, prin definiția lui $\vec{F}_m$:

$$L_{F_m} = L_F$$

Cum $\vec{F}_m$ are modulul F_m constant, putem scrie

$$L_{F_m} = F_m (r_B - r_A)$$

La (3) s-a calculat $L_F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$

și scriind egalitatea lui F_m cu F obținem:

$$F_m(r_B - r_A) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \text{ sau } F_m(r_B - r_A) = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \frac{r_B - r_A}{r_A r_B}$$

de unde $F_m = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{r_A r_B}$. Ridicând la putere

$$F_m^2 = \left(\frac{Qq}{4\pi\epsilon} \right)^2 \frac{1}{r_A^2 \cdot r_B^2}; \quad F_m^2 = \underbrace{\frac{Qq}{4\pi\epsilon r_A^2}}_{F_A} \cdot \underbrace{\frac{Qq}{4\pi\epsilon r_B^2}}_{F_B}$$

Deci $F_m^2 = F_A \cdot F_B$ sau $F_m = \sqrt{F_A \cdot F_B}$

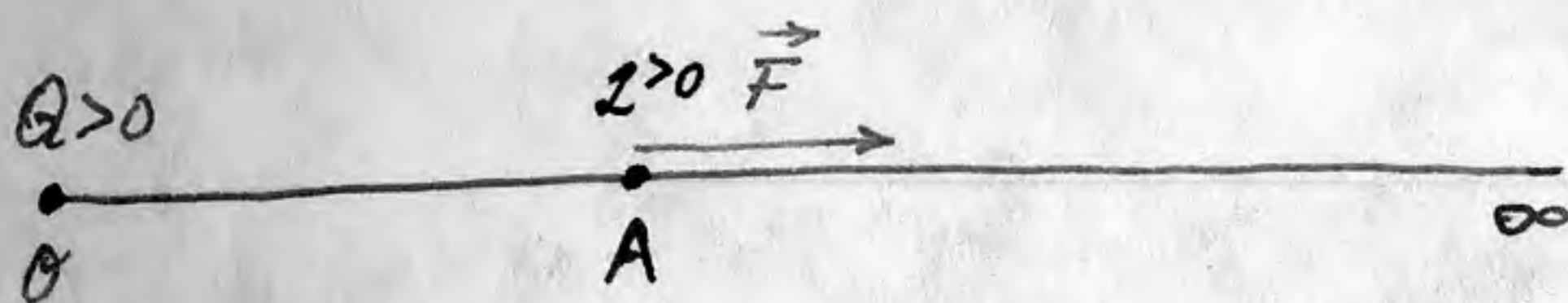
adică forța medie defructă anterior este media geometrică a forțelor electrice exercitate de cîmpul electric asupra sarcinii q în punctul inițial A (de plecare) și cel final (de sosire) B .

5. Potentiajul electric într-un punct al cîmpului, o nouă mărime ce caracterizează proprietățile cîmpului în acel punct (pe lângă intensitatea $\vec{E}_A$ a cîmpului în punctul A).



La fel ca și lucrul forței electrice $\vec{F}$ la deplasarea lui q de la A la B este

$$L_{AB} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$



Observăm că pentru a deplasa unitatea de sarcină electrică ~~de la punctul A la infinit~~ din punctul A la infinit, forțele electrice efectuează un lucru mecanic:

$$L_{A\infty} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{1}{r_A} \text{ sau } \boxed{L_{A\infty} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_A}}$$

(cu $L_{A\infty} > 0$ dacă $Q > 0$ și $L_{A\infty} < 0$ dacă $Q < 0$).

Se vede că acest lucru mecanic nu depinde de corpul de probă (sarcina sa q nu figurează în $L_{A\infty}$) și numai de sarcina generatoare de câmp, Q , și de poziția punctului în câmp. Adică, această expresie poate servi pentru definirea unei alte mărimi (pe lângă intensitatea $\vec{E}$ a câmpului în A) care să caracterizeze câmpul în punctul A.

b) Numim potențial al câmpului electric generat de sarcina Q , în t. m. punct A al câmpului, mărimea fizică scalară numeric egală cu lucrul mecanic efectuat de, ^{sau împotriva} forțelor electrice ale câmpului, pentru a deplasa unitatea de sarcină electrică ^{pozitivă} din acel punct la infinit. ~~Adică, lucrul mecanic efectuat de forțele electrice ale câmpului pentru a deplasa unitatea de sarcină electrică pozitivă din punctul A la infinit.~~

Potențialul se notează cu V . Avem:

$$V_A = \frac{L_{A\infty}}{\epsilon}$$

sau

$$V_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_A}$$

Se vede că potențialul în punctele câmpului creat de sarcini Q pozitive este pozitiv, iar cel creat de sarcini Q negative este negativ.

6. Diferența de potențial sau tensiunea electrică între două puncte A și B ale câmpului electric.

Avem:
$$L_{AB} = \frac{Q\epsilon}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) = \epsilon \left(\underbrace{\frac{Q}{4\pi\epsilon r_A}}_{V_A} - \underbrace{\frac{Q}{4\pi\epsilon r_B}}_{V_B} \right)$$

deci

$$L_{AB} = \epsilon (V_A - V_B)$$

Notăm $V_A - V_B = U_{AB}$ și numim această diferență, diferență de potențial între punctele A și B ale câmpului sau tensiune electrică între A și B. Avem:

$$L_{AB} = \epsilon \cdot U_{AB} \text{ sau simplu } L = \epsilon U$$

7. Unitatea de tensiune electrică, voltul (V).

Din $L = \epsilon U$ avem $U = \frac{L}{\epsilon}$ și

$$[U]_{SI} = \frac{[L]_{SI}}{[\epsilon]_{SI}} = \frac{J}{C} \text{ deci } [U]_{SI} = \frac{J}{C}$$

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

Vom spune că între două puncte ale unui câmp electric este o tensiune de un volt, dacă deplasând de la un punct la altul sarcina electrică de un coulomb câmpul face un lucru de un joule.

8. Unitatea de potențial electric, voltul (V).

a) Evident, potențialul electric nu poate avea altă unitate de măsură decât aceeași ca și diferența de potențial, sau ca tensiunea electrică.

b) Unitatea și de potențial se poate obține independent de cea a tensiunii electrice, folosind relația de definiție

$$V = \frac{L_{AO}}{Q} ; [V]_{SI} = \frac{[L_{AO}]_{SI}}{[Q]_{SI}} ; 1V = \frac{1J}{1C}$$

adică potențialul într-un punct al câmpului electric vom zice că este de un volt, dacă pentru a deplasa unitatea de sarcină din acel punct la infinit câmpul face un lucru mecanic de un joule.

Observăm că, astfel definită unitatea de potențial, unitatea de tensiune electrică, ca diferență de potențiale nu poate fi decât tot voltul.

9. Suprafață echipotentială.

În câmpul generat de sarcina punctiformă Q există o mulțime de puncte care au același potențial ca un punct A . În adevăr, din

$$V_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_A}$$

se vede că același potențial cu punctul A au toate punctele aflate la distanță r_A de Q . Ele formează suprafața unei sfere cu centrul în Q și de raza r_A . Suprafața acestei sfere este o suprafață echipotentială (toate punctele ei au același potențial).

10. Lucrul forțelor electrice la deplasarea sarcinii Q pe o suprafață echipotentială.

Evident, acest lucru este nul. În adevăr,

$$L_{AB} = Q (V_A - V_B)$$

fiind $V_A = V_B$ obținem $L_{AB} = 0$,

deoarece A și B se presupune pe o suprafață echipotentială.

11. Legătura dintre intensitatea câmpului electric într-un punct și potențialul electric în acel punct.

$$E_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_A^2} ; V_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_A} \text{ avem } E_A = \frac{V_A}{r_A} \text{ sau}$$

într-un punct

$$\boxed{E = \frac{V}{r}}$$

12. Definiția unității de intensitate a câmpului electrostatic volt/metru ($\frac{V}{m}$).

$$\text{Din } E = \frac{V}{r} \text{ avem } [E]_{SI} = \frac{[V]_{SI}}{[r]_{SI}} = \frac{V}{m}$$

13. Caracterul conservativ al forțelor electrice și al câmpului electrostatic deduse din formula lucrului mecanic al forțelor electrice ale câmpului.

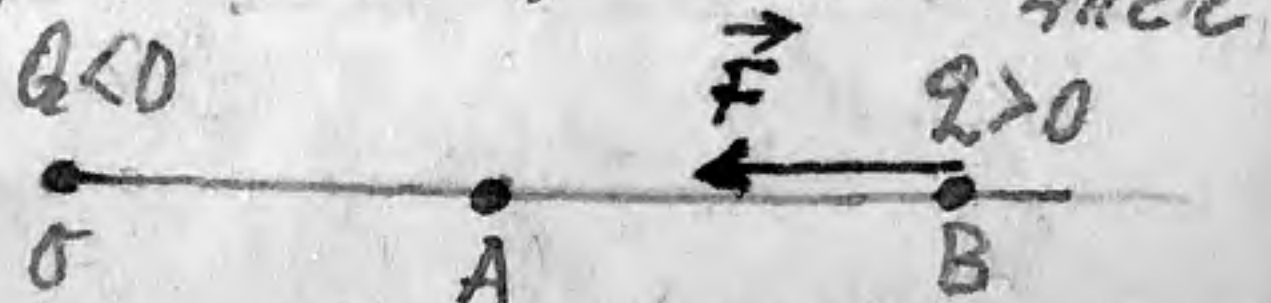
$$\text{Din } L_{AB} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

Se vede că pentru câmpul sarcinii punctiforme Q , lucrul mecanic L depinde numai de r_A și r_B (la un mediu dat prin ϵ), adică de distanțele inițială și finală a sarcinii q la sarcina generatoare Q , și nu depinde de drumul parcurs de q de la A la B .

Independența lui L de drum dovedește caracterul conservativ al forțelor electrice și al câmpului electrostatic - fapt stabilit anterior pe altă cale.

14. Sensul deplasării sarcinii pozitive libere în câmpul electrostatic.

Este de la potențialul mai mare la cel mai mic după cum rezultă din figuri și din formula $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon r}$.



15. Potențialul rezultat într-un punct A în care se suprapun unele multe câmpuri electrice.

Fiind o mărime scalară, potențialele se se suprapun într-un punct se adună algebric, determinând potențialul rezultat în punctul respectiv.

16. Alegerea unui punct de referință până la care să se facă deplasarea corpului de probă la definirea potențialului (deci a unui punct a cărui potențial să se considere convențional ca fiind nul).

a) Când s-a definit anterior potențialul la pct. 15, ca punct de referință, cu potențialul zero, s-a considerat punctul de la infinit:

$$V_{\infty} = 0.$$

În adevăr, din $U_{AB} = \int (V_A - V_B)$ obținem, dacă luăm B punctul de la infinit:

$$U_{A\infty} = \int (V_A - V_{\infty}) \text{ sau } V_A - V_{\infty} = \frac{U_{AB}}{\int}$$

$$\text{Dar } \frac{U_{A\infty}}{\int} = V_A, \text{ deci } V_A - V_{\infty} = V_A, \text{ de unde}$$

$$V_{\infty} = 0.$$

b) Rolul punctului de la infinit în definirea potențialului electric îl poate lua orice punct

B din câmpul electric, ales convențional ca punct de referință, căruia îi vom atribui valoarea zero pentru potențial: $V_B = 0$.

Din $L_{AB} = q(V_A - V_B)$ obținem

$$V_A - V_B = \frac{L_{AB}}{q} \quad \text{și cum } V_B = 0$$

avem

$$V_A = \frac{L_{AB}}{q}$$

care poate fi luată ca relație de definiție a potențialului, deoarece nu depinde de corpul de probă,
 punctului A în raport cu punctul B

$$V_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

și numai de proprietățile câmpului, prin Q și ϵ , de poziția punctului A față de Q și de alegerea făcută pentru punctul de referință B cu $V_B = 0$.

17. Definiția potențialului când punctul de potențial zero - punctul de referință - este la distanță finită.

a) Din relația închisă mai sus în care rezultă: Potențialul electric într-un punct este o mărime fizică numeric egală cu raportul dintre lucrul mecanic efectuat de câmp la deplasarea unui corp de probă încărcat, din acel punct, în punctul de referință ar.

situație ales, și sarcina aceluși corp.

b) În electrostatică se alege punctul de referință la mare distanță de celelalte sarcini, cel mai adesea la infinit. Aceasta deoarece o asemenea alegere simplifică expresia potențialului într-un punct:

$$V_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad \text{când B este punct de referință}$$

$$V_A = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_A} \quad \text{când punctul de referință este la infinit.}$$

c) Pentru studiul circuitelor electrice punctul de referință de potențial nul se ia, de obicei, pe suprafața Pământului.

18. Condiționarea definiției potențialului electric într-un punct al câmpului, de caracterul conservativ al câmpului.

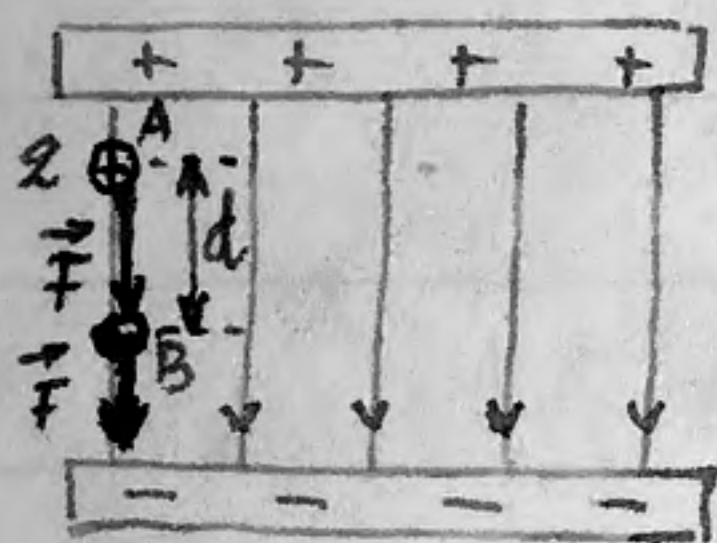
Noțiunea de potențial electric într-un punct poate fi introdusă numai datorită faptului că, câmpul electrostatic este conservativ. Dacă câmpul electrostatic ar fi neconservativ, atunci L_{AB} de la

$$V_A = \frac{L_{AB}}{2}$$

ar lua mai multe valori pentru un același punct A, după drumul pe care ar fi deplasată sarcina q , și potențialul V_A nu ar avea o valoare unică pt. de B.

19. Lucrul mecanic al forțelor electrice, potențialul și tensiunea electrică în câmpul electric uniform.

În câmpul uniform $\vec{E} = \text{const.}$. Dacă $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ rezultă $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, adică și $\vec{F} = \text{const.}$



Pentru urmarea vom putea calcula

$$L_{AB} = F \cdot d$$

Anterior s-a arătat că

$$L_{AB} = q \cdot U_{AB}$$

deci $q U_{AB} = Fd$ sau $U_{AB} = \frac{Fd}{q}$ Cum

$F = qE$ avem $U_{AB} = \frac{qEd}{q}$, $\boxed{U_{AB} = Ed}$