sústavy fyzikálnych veličín, sústavy SI, máme: $k_0 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ a Coulombov zákon dostáva tvar

$$\boldsymbol{f}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^3}\boldsymbol{r}_{12} \tag{5}$$

Určuje silu, ktorá pôsobí na bodový náboj q_2, keď sa tento nachodí vo vákuu v mieste s polohovým vektorom $\boldsymbol{r}_{12}$, vzhľadom na náboj q_1.

Konštanta ε_0 sa nazýva *dielektrická konštanta* (*permitivita*) vákua. Jej číselná hodnota závisí od jednotky elektrického množstva. Vyjadríme ju v sústave SI, v ktorej vedľa kilogramu, metra a sekundy štvrtou základnou jednotkou je jednotka (intenzity) elektrického prúdu, 1 ampér (1 A). Definíciu ampéra, keďže sa opiera o sily pôsobiace medzi vodičmi elektrického prúdu, budeme však môcť podať až neskoršie, keď budeme rozprávať o tzv. *magnetických javoch*.

Z definície elektrického prúdu $I = Q/t$, kde Q je elektrické množstvo prechádzajúce prierezom vodiča za čas t, vyplýva, že $Q = It$, takže v sústave SI jednotkou elektrického množstva je elektrické množstvo, ktoré prejde prierezom vodiča za 1 sekundu, ak intenzita prúdu je 1 ampér. Nazýva sa ampérsekunda.

Pri používaní coulombu (ampérsekundy) ako jednotky elektrického náboja, ak sa súčasne sila meria v newtonoch a dĺžka v metroch, pre permitivitu vákua vychodí:

$$\varepsilon_0 = 8{,}854 \,.\, 10^{-12}\mathrm{M}^{-3}\mathrm{K}^{-1}\mathrm{S}^{4}\mathrm{A}^{2} \tag{6}$$

Z rôznych meraní, s ktorými sa oboznámime neskoršie, vyplýva, že najmenší možný elektrický náboj, náboj 1 elektrónu, je

$$e = 1{,}602 \,.\, 10^{-19}\ \mathrm{AS}$$

1.3. Intenzita a potenciál v elektrostatickom poli. Priestor, v ktorom sa prejavujú účinky elektrických nábojov, ktoré sa v tomto priestore nepohybujú, nazýva sa elektrostatické pole. Vlastnosti elektrostatického poľa vyplývajú zo základného zákona elektrostatického poľa, z Coulombovho zákona, [vzorec (5) v článku 1.2], podľa ktorého bodový elektrický náboj Q účinkuje na iný bodový náboj q, ktorého polohový vektor vzhľadom na miesto náboja Q je $\boldsymbol{r}$, silou

$$\boldsymbol{f} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^3}\boldsymbol{r} \tag{1a}$$

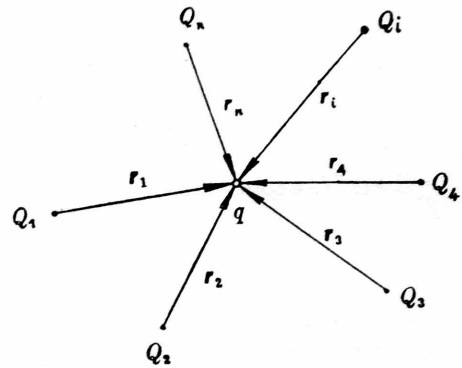
Podľa experimentálnej skúsenosti a v zhode s podobnou vlastnosťou gravitačných síl väčší počet bodových nábojov Q_i účinkuje vo vákuu na bodový náboj q silou, ktorá sa rovná vektorovému súčtu síl daných vzorcom (1a). Výsledná sila pôsobiaca v okolí bodových nábojov Q_i na bodový náboj q je preto (*obr. 1.6*)

$$\boldsymbol{f} = \sum \boldsymbol{f}_i = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \sum \frac{Q_i}{r_i^3} \boldsymbol{r}_i$$

Podobne ako v gravitačnom poli podiel

$$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{f}}{q} \tag{1b}$$

ktorý od veľkosti náboja q už nezávisí, nazýva sa *intenzitou elektrostatického poľa* v tom jeho mieste, kde na náboj q účinkuje sila $\boldsymbol{f}$ práve napísaným vzorcom.



Obr. 1.6.

Poznámka: Pri experimentálnom určovaní intenzity elektrostatického poľa v okolí elektricky vodivých telies za náboj q v predchádzajúcom vzorci treba voliť náboj podľa možnosti malý, aby jeho vplyvom nenastalo väčšie preskupenie nábojov na vodičoch a tým aj zmena meranej intenzity poľa.

Z Coulombovho zákona vyplýva, že intenzita elektrostatického poľa bodového elektrického náboja Q je

$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^3} \boldsymbol{r} \tag{2}$$

Intenzita elektrostatického poľa v okolí väčšieho počtu bodových nábojov Q_i je preto (*obr. 1.6*)

$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum \frac{Q_i}{r_i^3} \boldsymbol{r}_i \tag{3}$$

Pri spojitom rozložení elektrického množstva s priestorovou hustotou ϱ je zrejme

$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int \frac{\varrho \, \mathrm{d}\tau}{r^3} \boldsymbol{r} \tag{4a}$$

alebo, keď sa elektrický náboj nachádza na povrchoch vodivých telies pri plošnej hustote σ,

$$\boldsymbol{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int \frac{\sigma \, \mathrm{d}S}{r^3} \boldsymbol{r} \tag{4b}$$

Pre výtok vektora intenzity gravitačného poľa znútra na vonkajšiu stranu uzavretej plochy sme v 1. dieli tejto učebnice (str. 87) odvodili vzorec (2.13.6)

$$\oint \mathbf{E} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{S} = -4\pi\varkappa M$$

kde M značí celkovú hmotnosť vnútra uzavretej plochy, platný bez ohľadu na to, či na vonkajšej strane uzavretej plochy sú nejaké telesá alebo nie. Keďže sa Coulombov zákon

$$\mathbf{f} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Qq}{r^3} \mathbf{r}$$

líši od Newtonovho gravitačného zákona

$$\mathbf{f} = -\varkappa \frac{Mm}{r^3} \mathbf{r}$$

len v tom, že v Coulombovom zákone namiesto konštanty $-\varkappa$ vystupuje konštanta $1/4\pi\varepsilon_0$, výtok vektora intenzity elektrostatického poľa znútra na vonkajšiu stranu uzavretej plochy nepochybne správne vyjadruje vzorec

$$\oint \mathbf{E} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{S} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \tag{5}$$

kde Q je celkový elektrický náboj, ktorý sa nachádza vo vnútri uzavretej plochy, pričom prípadný el. náboj, nachádzajúci sa na vonkajšej strane uzavretej plochy, na výtok $T = \oint \mathbf{E} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{S}$ nemá vplyv.

Vzorec (5) vyjadruje *Gaussovu vetu elektrostatického poľa.*

Podľa Gaussovej vety vektorového počtu plošný integrál na ľavej strane rovnice (5) môžeme nahradiť objemovým integrálom $\int (\mathrm{div}\, \mathbf{E})\, \mathrm{d}\tau$, počítaným cez vnútro uzavretej plochy, na ktorú sa vzťahuje integrál $\oint \mathbf{E} \,.\, \mathrm{d}\mathbf{S}$. Keď súčasne aj náboj Q vyjadríme objemovým integrálom $Q = \int \varrho\, \mathrm{d}\tau$, v ktorom ϱ značí objemovú hustotu elektrického náboja, dostaneme rovnicu

$$\int (\mathrm{div}\, \mathbf{E})\, \mathrm{d}\tau = \frac{1}{\varepsilon_0} \int \varrho\, \mathrm{d}\tau$$

z ktorej vyplýva rovnica

$$\mathrm{div}\, \mathbf{E} = \frac{\varrho}{\varepsilon_0} \tag{6}$$

Tak, ako ani práca pri prenášaní hmotného bodu z miesta na miesto v gravitačnom poli, nezávisí ani práca pri prenášaní bodového náboja v elektrickom poli od tvaru dráhy, pozdĺž ktorej sa takáto práca koná, ale závisí iba od polohy jej začiatočného a koncového bodu. Preto aj v každom bode elektrostatického poľa možno definovať potenciál V ako prácu L, potrebnú na prenesenie bodového náboja q z miesta zvoleného za základ (napríklad z nekonečna) na miesto, v ktorom potenciál práve určujeme, rozdelenú týmto ábojom, teda

$$V = \frac{L}{q} = \int_{r_0}^{r} -\mathbf{E} \,.\, d\mathbf{r} = \int_{r}^{r_0} \mathbf{E} \,.\, d\mathbf{r} \tag{7}$$

Podľa tohto vzorca *absolútny elektrostatický potenciál* (potenciál vzhľadom na nekonečno) vo vzdialenosti r od bodového náboja Q je

$$V = \int_{r}^{\infty} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\mathbf{r}}{r^3} \,.\, d\mathbf{r} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \int_{r}^{\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} \tag{8}$$

Podobne ako v gravitačnom poli, aj potenciál v elektrostatickom poli väčšieho počtu nábojov (alebo náboja v priestore spojitým spôsobom rozloženého) rovná sa súčtu potenciálov určených jednotlivými bodovými (elementárnymi) zdrojmi poľa.

Vzťah medzi potenciálom a intenzitou aj v elektrostatickom poli určuje vzorec

$$\mathbf{E} = -\text{grad } V \tag{9}$$

takže div $\mathbf{E} = -\nabla \,.\, \nabla V = -\Delta V$. Použitím tohto výsledku možno rovnicu (6) písať takto:

$$\Delta V = -\frac{\varrho}{\varepsilon_0} \tag{10}$$

Rovnica (10), je základnou diferenciálnou rovnicou elektrostatického poľa. Má tvar, keďže $\Delta V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$, *Poissonovej* parciálnej diferenciálnej rovnice. V časti poľa, kde sa objemová hustota elektriny rovná nule, redukuje sa na *Laplaceovu* rovnicu,

$$\Delta V = 0 \tag{11}$$

Jednotka elektrického potenciálu v sústave SI sa nazýva 1 volt. Podľa vzorca (7) je to napríklad absolútny elektrický potenciál v tom bode elektrostatického poľa, do ktorého, keď prinesieme z nekonečna 1 AS, vykonáme prácu 1 joule.

$$1 \text{ volt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ AS}} = \frac{1 \text{ KM}^2\text{S}^{-2}}{1 \text{ AS}} = 1 \text{ A}^{-1}\text{KM}^2\text{S}^{-3}$$

Podľa vzorca (8) absolútny elektrický potenciál v okolí bodového náboja 1 AS vo vákuu je 1 volt vo vzdialenosti

$$r = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 V} = \frac{1\ \mathrm{AS}}{4\pi \,.\, 8{,}85 \,.\, 10^{-12}\mathrm{A^2K^{-1}M^{-3}S^4} \,.\, \mathrm{A^{-1}KM^2S^{-3}}} \doteq$$

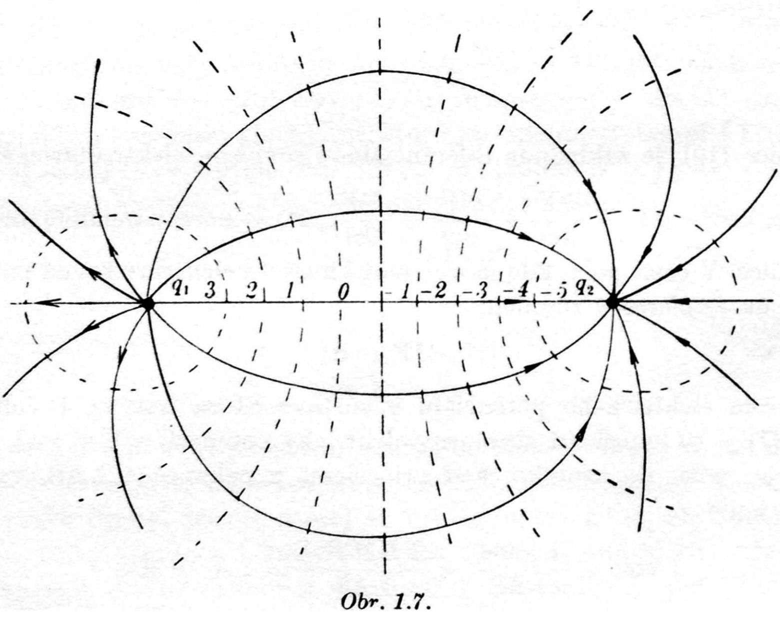
$$\doteq \frac{1}{4\pi \,.\, \dfrac{1}{36\pi} \,.\, 10^{-9}}\ \mathrm{M} = 9 \,.\, 10^9\ \text{metrov}$$

Bodový náboj 1 μAS budí teda potenciál 1 volt vo vzdialenosti $r = 9$ km.

Podľa vzorca (9) intenzita elektrostatického poľa vo svojej podstate je derivácia potenciálu elektrostatického poľa podľa dĺžky. Jej jednotkou v sústave SI je preto 1 volt/meter $= \mathrm{A^{-1}KMS^{-3}}$.

1.4. Siločiary a ekvipotenciálne hladiny v elektrostatickom poli. *Siločiarou* v elektrostatickom poli nazývame orientovanú čiaru, ktorá v každom svojom bode je súhlasne rovnobežná so smerom intenzity poľa v tomto bode. Keďže $\mathbf{E} = -\mathrm{grad}\, V$, sú siločiary na *ekvipotenciálne hladiny* (plochy, ktoré sa v každom svojom bode vyznačujú tou istou hodnotou elektrického potenciálu), všade kolmé.

Elektrické pole môžeme graficky znázorniť dvojako: a) vkreslením ekvipotenciálnych hladín a b) vkreslením siločiar. Na *obr. 1.7*, ktorý znázorňuje



Obr. 1.7.