

2. KULONOV ZAKON I JAČINA ELEKTRIČNOG POLJA

2.1. KULONOV ZAKON

Sila koja deluje između dva tačkasta naelektrisanja iznosi:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \quad [N]$$

gde je:

- $Q_1, Q_2 \dots$ količine naelektrisanja [C],
- $\epsilon_0 \dots$ dielektrična propustljivost (konstanta) vakuma [F/m],
- $\epsilon_r \dots$ relativna dielektrična propustljivost,
- $r \dots$ rastojanje između naelektrisanja [m] i
- $F \dots$ sila kojom naelektrisanja deluju jedno na drugo [N].
- $\epsilon \dots$ apsolutna dielektrična konstanta (propustljivost)

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \Rightarrow \epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 ; \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ [F/m]} \Rightarrow 1 / 4 \pi \epsilon_0 \cong 9 \cdot 10^9 \text{ [m/F]} \Rightarrow$$

$$F \cong \frac{9 \cdot 10^9 Q_1 \cdot Q_2}{\epsilon_r r^2} \quad [N]$$

Relativna dielektrična konstanta govori za koliko je puta sila između dva naelektrisanja u vakuumu veća od sile kad se naelektrisanja nađu u nekoj drugoj sredini. Usled toga relativna dielektrična konstanta je neki broj koji nema svoju jedinicu, a ona se može izraziti i u procentualnom iznosu (broju). Ona iznosi:

$$\epsilon_r = \frac{F_0}{F}$$

Kako je $4\pi r^2$ površina lopte, $\Rightarrow F = Q_1 Q_2 / \epsilon S$, te je :

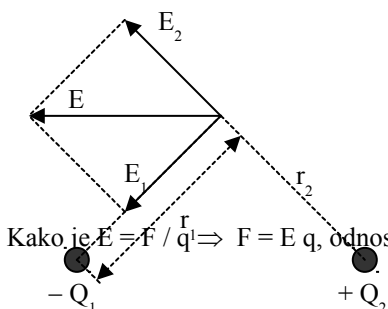
- $F \sim Q_1$ i Q_2 (sila je proporcionalna količinama naelektrisanja),
- $F \sim 1 / S$ (sila je obrnuto proporcionalna površini lopte).

2.2 ELEKTRIČNO POLJE

Električno polje je vektorska veličina, dakle, ima pravac, smer i intezitet. Smer je, dogovorom uzet, smer putanje pozitivnog probnog naelektrisanja, čime je ujedno određen i pravac polja. Da bi se odredila jačina električnog polja u bilo kojoj tački u električnom polju, u tu tačku se unese probno naelektrisanje (jedinično pozitivno) q_p . Jačina električnog polja za svaku tačku u električnom polju jednaka je F / q_p . Kako je $F = Q q_p / 4 \pi \epsilon r^2 \Rightarrow E = Q / 4 \pi \epsilon r^2$. Dakle, jačina polja je jednaka :

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Jačina polja je srazmerna naelektrisanju Q , koje čini to polje, a obrnuto srazmerna kvadratu rastojanja r (površini lopte). Da se primetiti da jačina polja ne zavisi od koločine naelektrisanja probnog naelektrisanja q_p , što znači da q_p ima ulogu samo za definiciju jačine električnog pola. Ako je $q_p = + 1 \text{ C} \Rightarrow E = F$, a samim tim definicija jačine električnog polja postaje jednostavnija.



Sl.1.

Kako je $E = F / q_p \Rightarrow F = E q_p$, odnosno $F_0 = E_0 q_p \Rightarrow$

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

$$\epsilon_r = \frac{F_0}{F} = \frac{E_0}{E}$$

Ako jačinu električnog polja u nekoj tački čine više naelektrisanja, kao na sl. 1, tada se za svako od tih naelektrisanja odredi pojedinačna jačina električnog polja ($E_1, E_2, \dots, E_n$).

Rezultantno polje se dobije vektorskim zbirom, te je:

Relativna dielektrična konstanta govori za koliko je puta jačina električnog polja u vakuumu jača od jačine polja u nekoj drugoj sredini. Za približno računajne jačine električnog polja koristi se sledeća relacija:

$$E = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{\epsilon_r r^2} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Z A D A C I :

2.1. Dva jednaka tačkasta naelektrisanja $Q_1 = Q_2 = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ nalaze se na međusobnom rastojanju od $5 \cdot 10^{-12} \text{ cm}$ u vakuumu. Odrediti pravac, smer i intezitet sile koja deluje između naelektrisanja.

2.2. Naelektrisanja $Q_1 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ i $Q_2 = -6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ nalaze se u dva suprotna temena kvadrata stranice $a = 3 \text{ cm}$ u vazduhu. Odrediti pravac, smer i intezitet sile između datih naelektrisanja.

2.3. Dva naelektrisanja $Q_1 = Q_2 = Q = 100 \text{ } \mu\text{C}$ nalaze se u vazduhu. Ako između datih naelektrisanja deluje sila od $F = 9 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ odrediti :

- rastojanje između naelektrisanja i
- kolika bi bila sila između istih naelektrisanja ako se ona nalaze na istom rastojanju ali u sredini čija je relativna dielektrična konstanta jednaka $\epsilon_r = 4$?

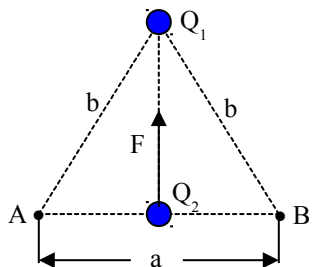
2.4. Na kom međusobnom rastojanju se nalaze dva tačkasta naelektrisanja čija su opterećenja $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ i $Q_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ako se nalaze u ulju ($\epsilon_r = 2,5$) i ako između njih deluje sila od $F = 0,9 \text{ N}$?

2.5. Rastojanje između dve jednako naelektrisane kugle iznosi a . Tačno na sredini između naelektrisanih kugli smešteno je probno naelektrisanje q . Odrediti silu na probno naelektrisanje ako su naelektrisanja kugli: a) istoimena ($Q_1 = Q_2 = Q$), b) suprotnih predznaka (Q_1 pozitivno a Q_2 negativno)

2.6. Četiri tačkasta naelektrisanja $Q_1 = -4 \text{ nC}$, $Q_2 = -6 \text{ nC}$, $Q_3 = +8 \text{ nC}$ i $Q_4 = +10 \text{ nC}$ nalaze se u temenima kvadrata stranice $a = 3\sqrt{2} \text{ cm}$. U preseku dijagonala nalazi se tačkasto telo sa naelektrisanjem $q = +1 \text{ nC}$. Koliko će iznositi sila koja deluje na tačkasto telo ?

2.7*. Dva tačkasta naelektrisanja $Q_1 = 25 \text{ pC}$ i nepoznato Q_2 nalaze se na rastojanju od $a = 5 \text{ cm}$. Ako se između njih, na rastojanju x od naelektrisanja Q_1 ubaci tačkasto naelektrisanje $q = -16 \text{ pC}$, na njega će delovati rezultantna Kulonova sila koja je jednaka nuli. Odrediti iznos naelektrisanja Q_2 i položaj tačke u kojoj se nalazi tačkasto naelektrisanje q .

2.8.



Sl.2.8.

Dva usamljena tačkasta naelektrisanja Q_1 i Q_2 nalaze se na jednokrakom trouglu (sl.2.8.) čiji su kraci dužine $a = 5 \text{ cm}$ i $b = 6 \text{ cm}$. Naelektrisanje $Q_1 = 10 \text{ nC}$ smešteno je u temenu naspram osnovice, a Q_2 na sredini osnovice. Tačke A i B su druga dva temena trougla. Izračunati naelektrisanje Q_2 ako na njega deluje sila inteziteta $F = 180 \text{ } \mu\text{N}$ sa smerom koji je prikazan na slici.

2.9. Dva tačkasta naelektrisanja $Q_1 = 0,6 \text{ } \mu\text{C}$ i $Q_2 = 1 \text{ } \mu\text{C}$ privlače se u ulju silom od $F = 0,215 \text{ N}$. Kolika će biti sila između tih naelektrisanja ako se ona premeste u vakuum i ako je između naelektrisanja rastojanje od 10 cm ?

2.10. Tri tačkasta naelektrisanja u vakuumu $Q_1 = Q_3 = -10^{-7} \text{ C}$ i $Q_2 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ leže na istom pravcu. Naelektrisanje Q_2 se nalazi tačno na sredini između naelektrisanja Q_1 i Q_3 i to na rastojanju od po 10 cm . Odrediti kolika je sila na svako od navedenih naelektrisanja.

2.11. Dve jako male kuglice nalaze se na rastojanju od 4 m . Prva kuglica sadrži višak od 10^9 elektrona dok druga manjak od $2 \cdot 10^9$ elektrona. Kolikom će silom delovati kuglice jedna na drugu ako se nalaze u vakuumu? Šta će se promeniti ako bi iste kuglice preneli u destilovanu vodu ($\epsilon_r = 81$), uz isto rastojanje između kuglica?

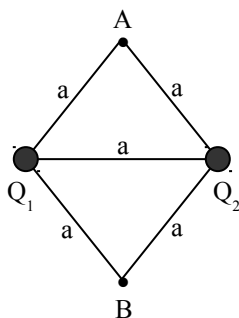
2.12. Međusobno rastojanje r dva tačkasta naelektrisanja $2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ i $3 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ može proizvoljno da se menja od 1 m do 6 m . Prikazati grafički kako se menja sila uzajamnog delovanja naelektrisanja.

2.13. Dva tačkasta naelektrisanja nalaze se na rastojanju r . Ako se rastojanje između njih smanji za $\Delta r = 50 \text{ cm}$, sila uzajamnog delovanja se uveća dva puta. Odrediti rastojanje r .

2.14. Dve lake male kuglice nalaze se u vazduhu na međusobnom rastojanju 30 cm i sadrže jednake količine naelektrisanja od $1 \mu\text{C}$. Kolika je rezultantna sila kojom ove kuglice deluju na treću, ako je ona od obe kuglice udaljena $10\sqrt{3} \text{ cm}$? Naelektrisanje treće kuglice iznosi $2\mu\text{C}$.

2.15. Tri jednaka naelektrisanja od po $4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ raspoređena su u temena jednakostraničnog trougla. Ako na svako naelektrisanje deluje sila od $2 \cdot 10^{-2} \text{ N}$, kolika je stranica trougla?

2.16.



Sl.2.16

Dva naelektrisanja Q_1 i Q_2 nalaze se na rastojanju $a = 10 \text{ cm}$. Odrediti silu koja deluje na naelektrisanje Q_3 koje iznosi $Q_3 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ako se ono postavi u tačku A, odnosno B (sl.2.16.). Tačke A i B su na rastojanju a i od Q_1 i od Q_2 , a vrednosti naelektrisanja su :

- a) $Q_1 = Q_2 = Q_3$;
- b) $Q_1 = Q_3 = -Q_2$

2.17. Kuglica mase $0,4 \text{ g}$ naelektrisana je količinom naelektrisanja $Q = -10 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ i obešena je o tanak konac (neprovodljiv), tako da se nalazi vertikalno iznad druge nepokretne kuglice koja je postavljena na izolatorski štapi. Rastojanje između centara kuglica je 40 cm . Ako se nepokretna kuglica naelektriše sa $Q' = -150 \cdot 10^{-9} \text{ C}$, kolika će biti sila zatezanja konca? Kuglice su smeštene u vakuumu. Masa konca je zanemarljiva.

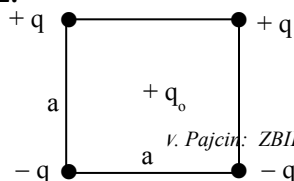
2.18. Kuglica mase $0,5 \text{ g}$ visi o tankom koncu. Kuglica je naelektrisana količinom naelektrisanja $q_0 = 0,1 \mu\text{C}$. Ispod kuglice je postavljena na rastojanju 10 cm druga kuglica naelektrisana $q_1 = -0,1 \mu\text{C}$. Za koliko rastojanje treba pomeriti donju kuglicu da se sila zatezanja smanji na polovinu? ($\epsilon_r = 1$, $g \cong 10 \text{ m/s}^2$).

2.19. Dve jednake male kuglice od kojih svaka ima masu $0,5 \text{ g}$ obešene su lakim koncima jednakih dužina od po 25 cm o istu tačku. Kada se kuglice naelektrišu jednakim količinama istoimenog naelektrisanja, odbiju se tako da rastojanje među njihovim centrima iznosi 4 cm . Ako se kuglice nalaze u vakuumu, odrediti naelektrisanja kuglica.

2.20.** Dve vrlo male kuglice jednakih poluprečnika naelektrisane su različitim količinama istoimenog elektriciteta, tako da se na rastojanju od $r = 2 \text{ cm}$ odbijaju silom inteziteta 2 mN . Kada se kuglice dodirnu i ponovo udalje na rastojanje r , sila kojom se odbijaju ima intezitet $2,25 \text{ mN}$. Odrediti količine naelektrisanja kuglica pre dodirivanja. Zadatak prokomentarisati. Kuglice su u vakuumu.

2.21. U temenima kvadrata nalaze se naelektrisane kuglice $q_1 = 2 \text{ nC}$, $q_2 = -4 \text{ nC}$, $q_3 = 2 \text{ nC}$ i $q_4 = -4 \text{ nC}$. Ako je stranica kvadrata 20 cm , odrediti silu koja deluje na kuglicu koja je naelektrisana sa q_3 . Kuglice se nalaze u vakuumu.

2.22.



Sl.2.22.

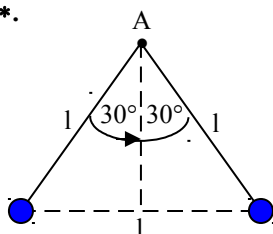
Četiri po modulu jednaka tačkasta naelektrisanja $|q| = 20 \text{ nC}$, dva pozitivna, a dva negativna (sl.2.22.), raspoređena su u temenima kvadrata stranice $a = 20 \text{ cm}$. Odrediti silu koja deluje na naelektrisanje $q_0 = 20 \text{ nC}$ postavljeno u centru kvadrata.

+

2.23. Dve jednake kuglice naelektrisanja -5 nC i 3 nC nalaze se na rastojanju d . Kuglice se dodirnu i postave u početne položaje. Odrediti odnos inteziteta sila kojima kuglice deluju pre i posle dodirivanja.

2.24. U temenima A i B jednakokraničnog trougla su dva jednaka pozitivna naelektrisanja, a u temenu C je negativno naelektrisanje. Ako je F intezitet sile kojom Q_A deluje na Q_C , odrediti rezultantnu silu koja deluje na Q_C .

2.25*.



Sl.2.25.

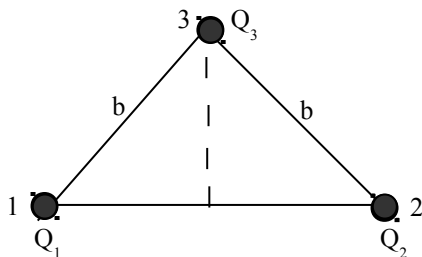
Dve male kuglice, istog prečnika i iste težine, vise o končićima dužine $l = 10 \text{ cm}$. Kada se kuglicama dovede količina elektriciteta od 10^{-7} C , one se odbijaju jedna od druge, tako da svaki končić čini sa vertikalom ugao od 30° (sl.2.25.). Naći težinu kuglice.

2.26. Data je metalna lopta poluprečnika 1 cm . Koliko treba da bude naelektrisanje na lopti da bi intezitet polja na površini lopte iznosio $E = 4,5 \text{ KV/mm}$? Prokomentarisati navedeni zadatak.

2.27. Dve provodne loptice istog poluprečnika nalaze se na rastojanju d , i naelektrisane su količinama elektriciteta Q_1 i Q_2 . Loptice se zatim dodirnu kratkotrajno jedna o drugu i vrata u prvobitne položaje. Izračunati elektrostatičku silu u oba slučaja ako su:

- naelektrisanja istog predznaka.
- naelektrisanja suprotnog predznaka

2.28*.

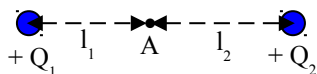


Sl.2.28.

Tri mala tela 1, 2 i 3 čija su naelektrisanja $Q_1 = 20 \text{ nC}$, $Q_2 = -30 \text{ nC}$ i $Q_3 = -50 \text{ nC}$, nalaze se u vazduhu i raspoređena su u temenima jednakokrakog trougla (sl.2.28.), pri čemu je $a = 6 \text{ m}$ i $b = 5 \text{ m}$. Odrediti silu koja će delovati na treće telo.

2.29*. Dve veoma male kuglice istih masa m , vise u vazduhu, na končićima jednake dužine l , zanemarljive mase, koji su učvršćeni u zajedničku tačku A. Kada se kuglice naelektrišu istim količinama elektricitete Q one se odbijaju tako da svaki končić gradi sa vertikalom ugao α (sl.4). Koliko iznosi masa tih kuglica?

2.30.



Sl.2.30.

Intezitet električnog polja u tački A koja se nalazi između dva mala tela naelektrisana pozitivnim naelektrisanjima Q_1 i Q_2 je jednak nuli (sl. 2.30.). Ako je $l_2 = 3l_1$, odrediti koliki je odnos između naelektrisanja Q_2 / Q_1 ?