

1. Coulumbov zakon

Naboj je svojstvo čestice (tvari) kao što je to npr masa. Između dvije mase (dva tijela) vlada gravitacijska sila, a između dva naboja javlja se električna sila, odnosno, ako naboji miruju, elektrostatska sila. Električna sila naziva se i Coulombova sila, a opisuje se Coulombovim zakonom:

$$F = \frac{Q_1 * Q_2}{4 * \pi * \epsilon * d^2}$$

gdje je:

$$\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$$

$$\epsilon_0 = 8,854 * 10^{-12}$$

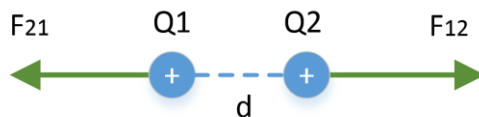
$$\epsilon_r = 1 \text{ (zrak)}$$

$$d = \text{udaljenost naboja u metrima}$$

Svaka sila pa tako i električna je vektorska veličina što znači da ona ima svoj smjer i iznos. Coulombovim zakonom napisanom u gornjem obliku možemo izračunati samo iznos te sile. Smjer sile određujemo na temelju predznaka naboja, a postoje pozitivni naboji (nosioci su protoni) i negativni (nosioci su elektroni).

- **istoimeni naboji se odbijaju**

Primjer:



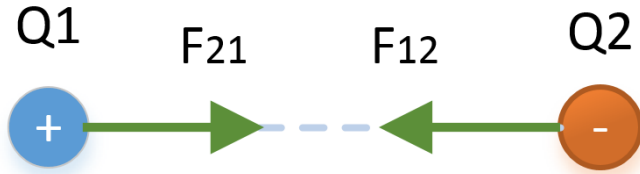
Naboj 1 djeluje na naboj 2 silom F_{12} – naboj 1 odbija naboj 2 od sebe.

Naboj 2 djeluje na naboj 1 silom F_{21} – naboj 2 odbija naboj 1 od sebe.

Sile su jednake po iznosu ($F_{12} = F_{21}$), ali različite po predznaku (smjeru). Iznos računamo prema Coulombovom zakonu.

- **raznoimeni naboji se privlače**

Primjer:



Naboj 1 djeluje na naboj 2 silom F_{12} – naboj 1 privlači naboj 2.

Naboj 2 djeluje na naboj 1 silom F_{21} – naboj 2 privlači naboj 1.

Sile su jednake po iznosu ($F_{12} = F_{21}$), ali različite po predznaku (smjeru). Iznos računamo prema Coulombovom zakonu.

Primjer iz domaće zadaće

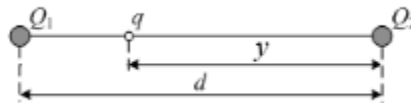
OE 1. DZ

Dva naboja, Q_1 i Q_2 , istog polariteta postavljeni su na udaljenost d u sredstvu sa zadanim ϵ_r . Nađite iznos sile F_{12} između naboja Q_1 i Q_2 ! Na koju udaljenost y od naboja Q_2 treba postaviti probni naboj $q=1$ pAs na spojnici naboja Q_1 i Q_2 pa da sila na njega bude jednaka nuli?

$F_{12} = \underline{\hspace{1cm}}$ nN $y = \underline{\hspace{1cm}}$ cm

ZADANO JE:

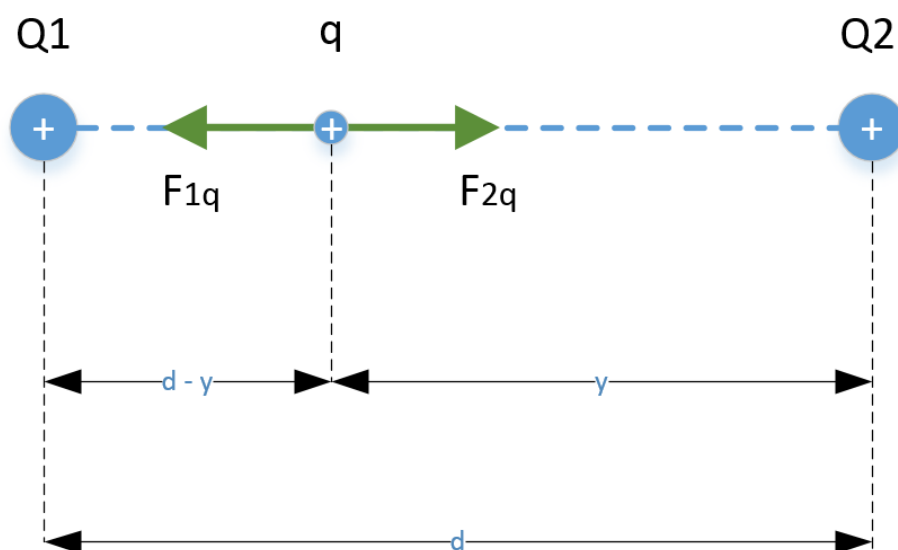
$d = 55$ cm $Q_1 = 1$ nAs $Q_2 = 2$ nAs $\epsilon_r = 5$



Silu između naboja jednostavno izračunamo Coulombovim zakonom:

$$F = \frac{Q_1 * Q_2}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * d^2} = \frac{1 * 10^{-9} * 2 * 10^{-9}}{4\pi * 8,854 * 10^{-12} * 5 * 0,55^2} = 1,1885 * 10^{-8} \text{ N} = 11,885 \text{ nN}$$

Na koju udaljenost treba postaviti probni naboj da sila na njega bude nula? Na probni naboj koji postavimo djelovati će sila od naboja 1 i sila od naboja 2, odnosno ukupna sila na probni naboj će biti zbroj te dvije sile. Iznose sile izračunamo prema Coulombovom zakonu, a njihove smjerove odredimo prema predznacima naboja.



Zadano je da ukupna sila na naboj mora biti nula što znači:

$$\mathbf{F}_{1q} + \mathbf{F}_{2q} = \mathbf{0} \quad // \text{vektorski zbroj}$$

Umjesto vektora možemo pisati iznose:

$$F_{1q} - F_{2q} = 0 \quad // \text{različiti predznaci sila nam govore da su u suprotnim smjerovima}$$

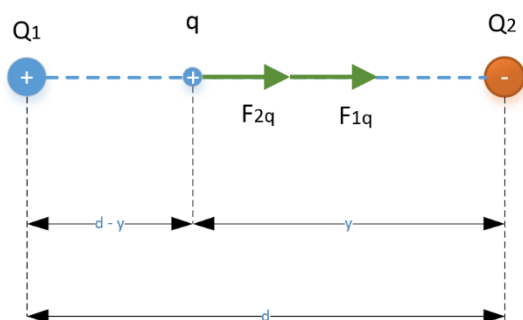
$$F_{1q} = F_{2q}$$

$$\frac{Q_1 * q}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * (d - y)^2} = \frac{Q_2 * q}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * y^2}$$

$$Q_1 * y^2 = Q_2 * (d - y)^2$$

$$y^2 = 2 * (0,55 - y^2)$$

$$y = 0,6055 \text{ m} = 60,55 \text{ cm}$$



Ako bi npr. naboj 2 bio negativan onda bi ukupna sila na naboj q bila:

$$F = F_{1q} + F_{2q}$$

$$F = \frac{Q_1 * q}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * (d - y)^2} + \frac{Q_2 * q}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * y^2}$$

2. Električno polje

Gravitacijsko polje je prostor djelovanja gravitacijske sile. Gravitacijsko polje nekog tijela (čestice) postoji zbog **mase** tog tijela (čestice). Polje postoji uvijek, međutim neko drugo tijelo (masa) to g-polje može “osjetiti” tek kada se nađe u njemu jer će “osjetiti” silu koja će djelovati na njega – gravitacijsku silu.

Električno polje je prostor djelovanja električne (coulombove) sile. Električno polje nekog tijela (čestice) postoji zbog **naboja** tog tijela (čestice). Polje postoji uvijek, međutim, neko drugo tijelo (naboj) to e-polje može “osjetiti” tek kada se nađe u njemu jer će “osjetiti” silu koja će djelovati na njega – električnu silu.

Jakost električnog polja (V/m) je definirana kao sila koja djeluje na probni naboj:

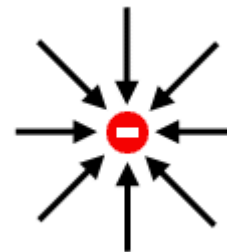
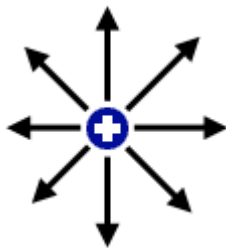
$$E = \frac{F}{q}$$

Električno polje naboja Q djeluje na probni naboj q električnom (Coulombovom) silom:

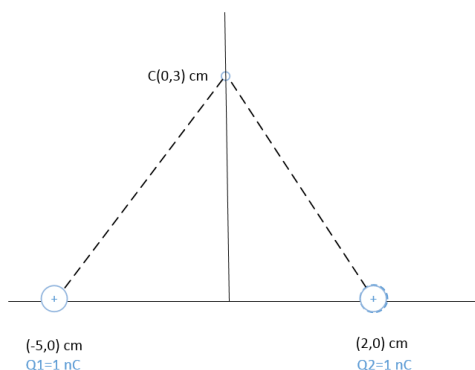
$$E = \frac{\frac{Q * q}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * r^2}}{q} = \frac{Q}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * r^2}$$

Električna (Coulombova) sila je rezultat djelovanja električnog polja na neki testni (probni) naboj koji je doveden u to električno polje. Smjer djelovanja električne sile na probni naboj je jednak smjeru električnog polja koje je uzrokovalo tu silu. Električno polje je dakle vektor kao što je električna sila vektor. Imaju isti smjer, ali mogu imati različit iznos.

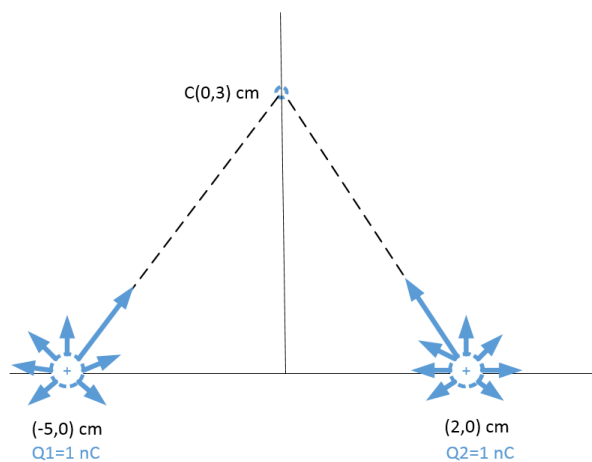
Točkasti naboj je naboj zanemarivo malih dimenzija, a njegovo električno polje grafički predočavamo radijalni linijama koje nazivamo silnicama polja. Što su silnice gušće to je veća jakost električnog polja. Smjer polja točkastog naboja određuje smjer električne sile koja bi djelovala na **POZITIVAN** probni naboj unesen u to polje.



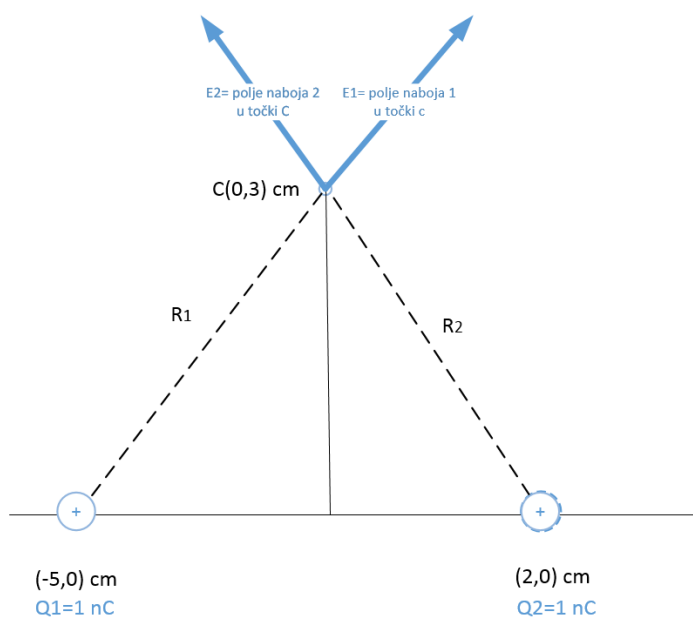
Primjer: Izračunati jakost električnog polja u točki C



Pošto su oba naboja pozitivna silnice “izlaze” iz naboja kao na slici:



Električno polje naboja 1 u točki C i naboja 2 u točki C:



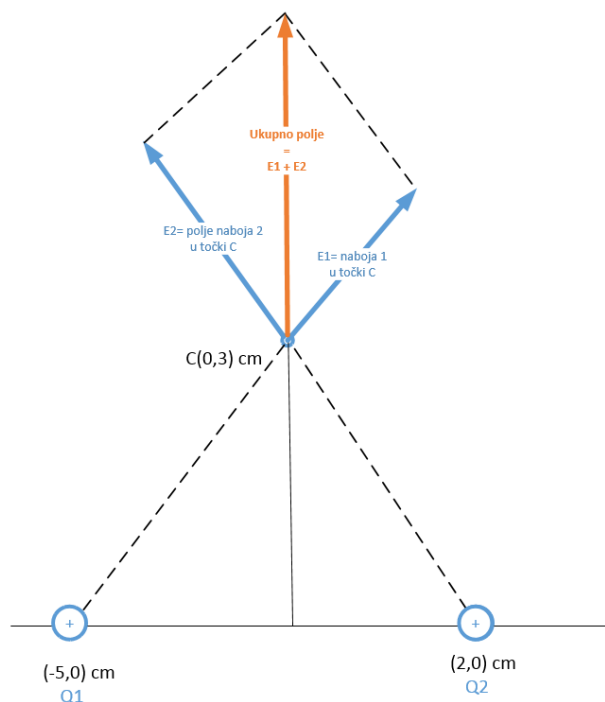
$$R_1 = \sqrt{5^2 + 3^2} = 5,83 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$R_2 = \sqrt{2^2 + 3^2} = 3,61 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

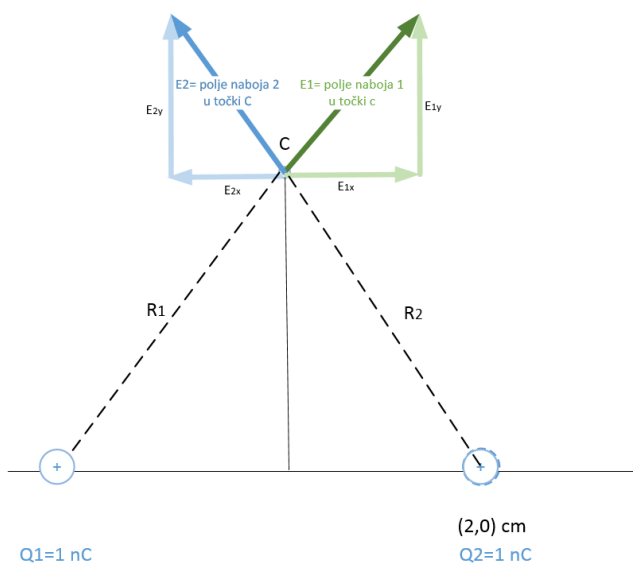
$$E_1 = \frac{Q_1}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * R_1^2} = 2496 \text{ V/m}$$

$$E_2 = \frac{Q_2}{4\pi * \epsilon_0 * \epsilon_r * R_2^2} = 5617 \text{ V/m}$$

Ukupno polje je zbroj polja od naboja 1 i polja od naboja 2:



Pošto su ti vektori u različitom smjeru ne može jednostavno zbrojiti iznose nego ih moramo rastaviti na okomite komponente:

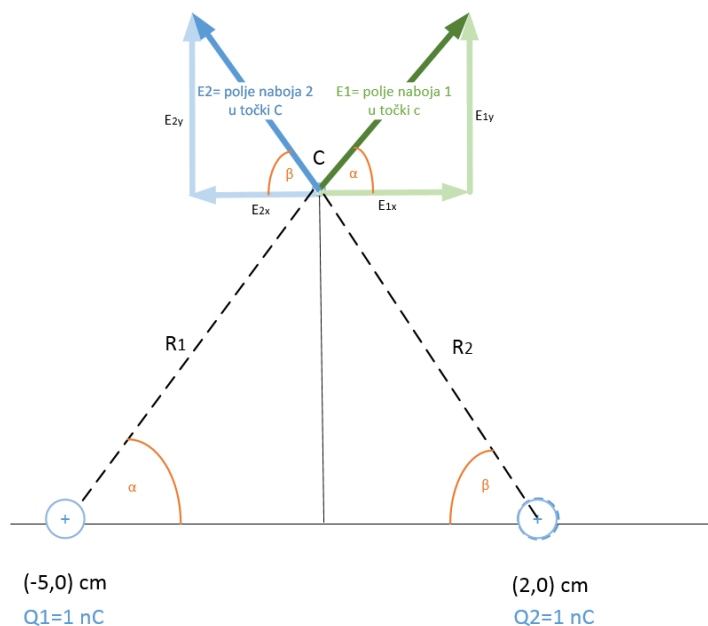


Prema pravilu trokuta za zbrajanje vektora vrijedi:

$$E_1 = E_{1x} + E_{1y}$$

$$E_2 = E_{2x} + E_{2y}$$

Komponente računamo pomoću jednostavne trigonometrije:



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{5} \rightarrow \alpha = 31^\circ$$

$$\cos \alpha = \frac{E_{1x}}{E_1} \rightarrow E_{1x} = E_1 \cos \alpha = 2139 \text{ V/m}$$

$$\sin \alpha = \frac{E_{1y}}{E_1} \rightarrow E_{1y} = E_1 \sin \alpha = 1285 \text{ V/m}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{3}{2} \rightarrow \beta = 56^\circ$$

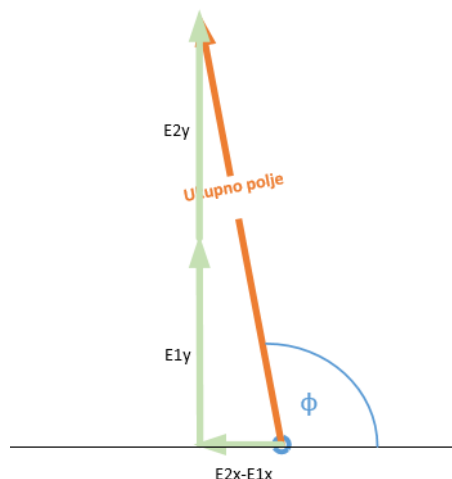
$$\cos \beta = \frac{E_{2x}}{E_2} \rightarrow E_{2x} = E_2 \cos \beta = 3141 \text{ V/m}$$

$$\sin \beta = \frac{E_{2y}}{E_2} \rightarrow E_{2y} = E_2 \sin \beta = 4656 \text{ V/m}$$

Vektore koji su u istom smjeru možemo zbrojiti odnosno oduzeti ako su suprotne orijentacije. Vrijedi:

- ukupno u x smjeru: $E_x = E_{2x} - E_{1x} = 1002 \text{ V/m}$

- ukupno u y smjeru: $E_y = E_{1y} + E_{2y} = 5941 \text{ V/m}$



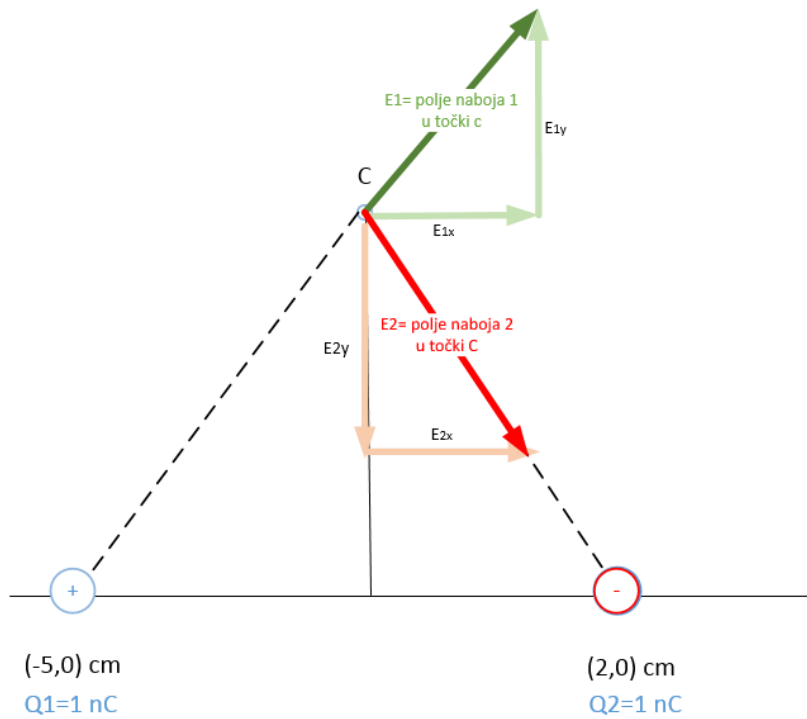
$$E = E_1 + E_2$$

$$E = \sqrt{(E_{2x} - E_{1x})^2 + (E_{1y} + E_{2y})^2}$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 6024 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 6 \text{ kV/m}$$

$$\phi = 180^\circ - \arctg\left(\frac{E_y}{E_x}\right) = 180^\circ - 80^\circ = 100^\circ$$

Ako je npr. naboj 2 negativan slika bi bila sljedeća:



Tada bi zbrajali x komponente jer su iste orijentacije, a y komponente oduzimali jer su suprotne orijentacije. Izračun komponenti pomoću trigonometrije.