

### Zadatak 301 (Zvone, elektrotehnička škola)

Dvije sfere se nalaze na udaljenosti 1.80 mm (njihova veličina je zanemariva u odnosu na ovu udaljenost) i početno su električno neutralne. Koliko elektrona moramo dodati svakoj od njih (jednak broj dodajemo na obje sfere) kako bi na svaku od njih djelovala električna sila iznosa  $4.55 \cdot 10^{-21}$  N? (naboj elektrona  $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C)

#### Rješenje 301

$$r = 1.80 \text{ mm} = 1.80 \cdot 10^{-3} \text{ m}, \quad F = 4.55 \cdot 10^{-21} \text{ N}, \quad e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad N = ?$$

#### Coulombov zakon

Električna sila između dvaju točkastih naboja (Coulombov zakon) u vakuumu dana je relacijom:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2},$$

gdje su  $Q_1$  i  $Q_2$  naboji,  $r$  njihova međusobna udaljenost, konstanta  $k$  za vakuum

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

**Elektron** je negativno nabijena subatomska (izgrađuje atom) čestica. Elektroni se nalaze u elektronskom omotaču atoma. Naboj jedne čestice elektrona iznosi  $-1.602 \cdot 10^{-19}$  C.

**Proton** je subatomska (izgrađuje atom) nukleonska (sastavni dio jezgre atoma) pozitivna čestica, naboja  $+1.602 \cdot 10^{-19}$  C.

Električni naboj elektrona i protona ima isti iznos:  $1.602 \cdot 10^{-19}$  C. To je najmanja količina naboja koju su fizičari dosad otkrili pokusima i zove se **elementarni naboj**. Utvrđeno je da se električni naboji javljaju samo u cjelobrojnim višekratnicima tog elementarnog naboja. Kažemo da je naboj **kvantiziran**, sastavljen od osnovnih kvanata elektriciteta

$$Q = N \cdot e,$$

gdje je  $N$  cijeli broj,  $e$  elementarni naboj.

Električni naboj jedna je od osnovnih osobina elementarnih čestica. Jedinica za električni naboj je coulomb (C). Najmanja količina električnog naboja, elementarni naboj, iznosi:

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

Budući da sfere moraju imati jednak broj naboja, slijedi:

$$\begin{aligned} F &= k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \Rightarrow [Q_1 = Q_2 = Q] \Rightarrow F = k \cdot \frac{Q^2}{r^2} \Rightarrow [Q = N \cdot e] \Rightarrow F = k \cdot \frac{(N \cdot e)^2}{r^2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow k \cdot \frac{(N \cdot e)^2}{r^2} = F \Rightarrow k \cdot \frac{(N \cdot e)^2}{r^2} = F \cdot \frac{r^2}{k} \Rightarrow (N \cdot e)^2 = \frac{F \cdot r^2}{k} \Rightarrow (N \cdot e)^2 = \frac{F \cdot r^2}{k} \cdot \sqrt{\quad} \Rightarrow \\ &\Rightarrow N \cdot e = \sqrt{\frac{F \cdot r^2}{k}} \Rightarrow N \cdot e = r \cdot \sqrt{\frac{F}{k}} \Rightarrow N \cdot e = r \cdot \sqrt{\frac{F}{k}} \cdot \frac{1}{e} \Rightarrow N = \frac{r}{e} \cdot \sqrt{\frac{F}{k}} = \\ &= \frac{1.80 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \cdot \sqrt{\frac{4.55 \cdot 10^{-21} \text{ N}}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}}} = 8 \text{ elektrona.} \end{aligned}$$

#### Vježba 301

Dvije sfere se nalaze na udaljenosti 0.9 mm (njihova veličina je zanemariva u odnosu na ovu udaljenost) i početno su električno neutralne. Koliko elektrona moramo dodati svakoj od njih (jednak broj dodajemo na obje sfere) kako bi na svaku od njih djelovala električna sila iznosa  $18.2 \cdot 10^{-21}$  N? (naboj elektrona  $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C)

**Rezultat:** 8 elektrona.

### Zadatak 302 (Duje, maturant)

Četiri jednaka naboja nalaze se u četiri vrha kvadrata. Koliki je električni potencijal u središtu kvadrata ako su naboji od 1 nC, a stranica kvadrata 0.1 m?

### Rješenje 302

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q = 1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}, \quad a = 0.1 \text{ m}, \quad \varphi = ?$$

Električni potencijal (oznaka  $\varphi$ ) je skalarna fizikalna veličina koja opisuje potencijalnu energiju električki nabijene čestice u statičkom električnom polju. Ako je izvor električnog polja točkasta množina naboja  $Q$  ili nabijena kugla, onda je potencijal u točki na udaljenosti  $r$  od naboja, odnosno središta kugle, za vakuum jednak

$$\varphi = k \cdot \frac{Q}{r},$$

gdje je

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

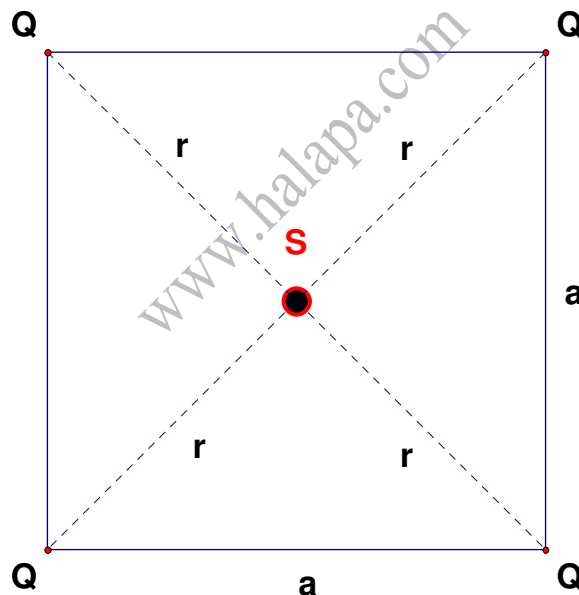
Četverokut je dio ravnine omeđen sa četiri stranice.

Plošna dijagonala je dužina koja spaja dva nesusjedna vrha nekog mnogokuta ili poliedra.

**Kvadrat** je četverokut kojemu su sve stranice sukladne, a dijagonale međusobno sukladne i okomite.

Duljina dijagonale  $d$  kvadrata stranice  $a$  izračunava se po formuli

$$d = a \cdot \sqrt{2}.$$



Sa slike vidi se:

$$r = \frac{a \cdot \sqrt{2}}{2}.$$

Potencijal je skalarna veličina. Ukupni je potencijal jednak zbroju potencijala koji svaki od ta četiri naboja stvara u središtu  $S$  kvadrata. Potencijal  $\varphi$  u središtu kvadrata jednak je zbroju potencijala naboja vrhova kvadrata.

$$\varphi = k \cdot \frac{Q_1}{r} + k \cdot \frac{Q_2}{r} + k \cdot \frac{Q_3}{r} + k \cdot \frac{Q_4}{r} \Rightarrow \varphi = 4 \cdot k \cdot \frac{Q}{r} \Rightarrow \varphi = 4 \cdot k \cdot \frac{Q}{\frac{a \cdot \sqrt{2}}{2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \varphi = 8 \cdot k \cdot \frac{Q}{a \cdot \sqrt{2}} = 8 \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-9} C}{0.1 m \cdot \sqrt{2}} = 509.12 V.$$

### Vježba 302

Odmor!

**Rezultat:** ...

### Zadatak 303 (Marko, maturant)

Dva su točkasta naboja dovedena iz velike međusobne udaljenosti na udaljenost 1 m i pri tome je obavljen rad 10 J. Koliki je rad potrebno utrošiti da se ta dva naboja dovedu od međusobne udaljenosti 1 m na 0.2 m?

- A. 10 J      B. 20 J      C. 30 J      D. 40 J

### Rješenje 303

$$r_1 = 1 \text{ m}, \quad W_1 = 10 \text{ J}, \quad r_2 = 0.2 \text{ m}, \quad W_2 = ?$$

Rad  $W$  koji je potrebno uložiti da naboj  $q$  premjestimo iz točke A u točku B u električnom polju točkastog naboja  $Q$  dan je formulom

$$W = k \cdot Q \cdot q \cdot \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right).$$

Naboji se dovode iz velike međusobne udaljenosti gdje je

$$r_2 = \infty \Rightarrow \frac{1}{r_2} = 0.$$

Obavljeni rad iznosi:

$$W_1 = k \cdot Q \cdot q \cdot \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \Rightarrow W_1 = k \cdot Q \cdot q \cdot \frac{1}{r_1}.$$

Ako se naboji dovedu od međusobne udaljenosti  $r_1$  na  $r_3$  rad će biti

$$\begin{aligned} W_2 &= k \cdot Q \cdot q \cdot \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_1} \right) \Rightarrow W_2 = k \cdot Q \cdot q \cdot \frac{1}{r_1} \cdot \left( \frac{r_1}{r_3} - 1 \right) \Rightarrow \left[ W_1 = k \cdot Q \cdot q \cdot \frac{1}{r_1} \right] \Rightarrow \\ &\Rightarrow W_2 = W_1 \cdot \left( \frac{r_1}{r_3} - 1 \right) = 10 \text{ J} \cdot \left( \frac{1 \text{ m}}{0.2 \text{ m}} - 1 \right) = 40 \text{ J}. \end{aligned}$$

Odgovor je pod D.

### Vježba 303

Dva su točkasta naboja dovedena iz velike međusobne udaljenosti na udaljenost 1 m i pri tome je obavljen rad 30 J. Koliki je rad potrebno utrošiti da se ta dva naboja dovedu od međusobne udaljenosti 1 m na 0.2 m?

- A. 80 J      B. 120 J      C. 130 J      D. 90 J

**Rezultat:** B.

### Zadatak 304 (Marko, maturant)

Dva naboja  $Q_1 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  i  $Q_2 = 2.5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  nalaze se u zraku na udaljenosti 1 m. Koliki rad treba obaviti da bismo ih približili na udaljenost 0.2 m?

- A.  $6 \cdot 10^{-3} \text{ J}$       B.  $3.6 \cdot 10^{-5} \text{ J}$       C.  $10^{-8} \text{ J}$       D.  $200 \text{ J}$

### Rješenje 304

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ C}, \quad Q_2 = 2.5 \cdot 10^{-8} \text{ C}, \quad r_1 = 1 \text{ m}, \quad r_2 = 0.2 \text{ m}, \quad W = ?$$

Rad  $W$  koji je potrebno uložiti da naboj  $q$  premjestimo iz točke A u točku B u električnom polju

točkastog naboja Q dan je formulom

$$W = k \cdot Q \cdot q \cdot \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right),$$

gdje je  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ .

Obavljeni rad iznosi:

$$\begin{aligned} W &= k \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \Rightarrow W = k \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot \frac{r_1 - r_2}{r_2 \cdot r_1} = \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot 4 \cdot 10^{-8} C \cdot 2.5 \cdot 10^{-8} C \cdot \frac{1 \text{ m} - 0.2 \text{ m}}{0.2 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 3.6 \cdot 10^{-5} J. \end{aligned}$$

Odgovor je pod B.

### Vježba 304

Dva naboja  $Q_1 = 2 \cdot 10^{-8} C$  i  $Q_2 = 5 \cdot 10^{-8} C$  nalaze se u zraku na udaljenosti 1 m. Koliki rad treba obaviti da bismo ih približili na udaljenost 0.2 m?

A.  $6 \cdot 10^{-3} J$     B.  $3.6 \cdot 10^{-5} J$     C.  $10^{-8} J$     D.  $200 J$

**Rezultat:** B.

### Zadatak 305 (Marko, maturant)

Pri dovođenju dvaju točkastih naboja iz velike međusobne udaljenosti na udaljenost 50 cm obavljen je rad 20 J. Koliki će rad biti potreban da se ti naboji približe za još 40 cm?

A. 60 J    B. 70 J    C. 80 J    D. 65 J

### Rješenje 305

$$r_1 = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}, \quad W_1 = 20 \text{ J}, \quad \Delta r = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}, \quad W_2 = ?$$

Rad W koji je potrebno uložiti da naboj q premjestimo iz točke A u točku B u električnom polju točkastog naboja Q dan je formulom

$$W = k \cdot Q \cdot q \cdot \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right).$$

Naboji se dovode iz velike međusobne udaljenosti gdje je

$$r_2 = \infty \Rightarrow \frac{1}{r_2} = 0.$$

Obavljeni rad iznosi:

$$W_1 = k \cdot Q \cdot q \cdot \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \Rightarrow W_1 = k \cdot Q \cdot q \cdot \frac{1}{r_1}.$$

Kada se naboji međusobno približe za  $\Delta r$  udaljenost je:

$$r_3 = r_1 - \Delta r = 0.5 \text{ m} - 0.4 \text{ m} = 0.1 \text{ m}.$$

Ako se naboji dovedu od međusobne udaljenosti  $r_1$  na  $r_3$  rad će biti

$$W_2 = k \cdot Q \cdot q \cdot \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_1} \right) \Rightarrow W_2 = k \cdot Q \cdot q \cdot \frac{1}{r_1} \cdot \left( \frac{r_1}{r_3} - 1 \right) \Rightarrow \left[ W_1 = k \cdot Q \cdot q \cdot \frac{1}{r_1} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow W_2 = W_1 \cdot \left( \frac{r_1}{r_3} - 1 \right) = 20 \text{ J} \cdot \left( \frac{0.5 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} - 1 \right) = 80 \text{ J}.$$

Odgovor je pod C.

### Vježba 305

Pri dovođenju dvaju točkastih naboja iz velike međusobne udaljenosti na udaljenost 50 cm obavljen je rad 50 J. Koliki će rad biti potreban da se ti naboji približe za još 40 cm?

- A. 150 J    B. 200 J    C. 220 J    D. 250 J

**Rezultat:**    B.

### Zadatak 306 (Robi, maturant)

Dva pozitivna točkasta naboja iznosa 1 nC i 10 nC nalaze se u homogenome električnom polju iznosa 1 N/C tako da se njihova spojnica poklapa s jednom od silnica polja. Vektor polja usmjeren je od manjega naboja prema većemu naboju. Koliko iznosi ukupno električno polje u točki koja se nalazi na sredini spojnice dvaju naboja ako su oni udaljeni 2 m?

- A.  $10 \frac{N}{C}$     B.  $80 \frac{N}{C}$     C.  $90 \frac{N}{C}$     D.  $100 \frac{N}{C}$

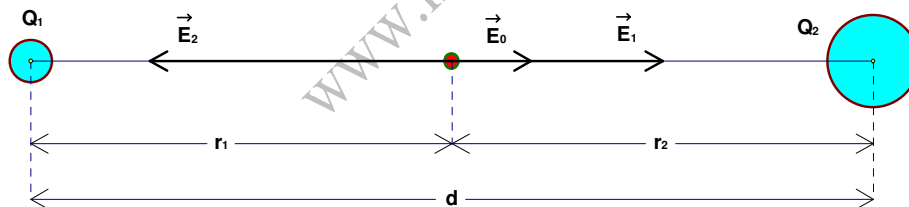
### Rješenje 306

$$Q_1 = 1 \text{ nC} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ C}, \quad Q_2 = 10 \text{ nC} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ C}, \quad E_0 = 1 \text{ N/C}, \quad d = 2 \text{ m}, \quad E = ?$$

Ako je izvor električnog polja točkasta množina naboja Q smještena u praznini, onda je jakost električnog polja u nekoj točki polja na udaljenosti r od naboja dana izrazom

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2},$$

gdje je  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ .



$$r_1 = r_2 = r = \frac{d}{2} = 1 \text{ m}$$

$$E = E_2 - E_1 - E_0 \Rightarrow E = k \cdot \frac{Q_2}{r_2^2} - k \cdot \frac{Q_1}{r_1^2} - E_0 \Rightarrow E = k \cdot \frac{Q_2}{r^2} - k \cdot \frac{Q_1}{r^2} - E_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = \frac{k}{r^2} \cdot (Q_2 - Q_1) - E_0 = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}}{(1 \text{ m})^2} \cdot (1 \cdot 10^{-8} \text{ C} - 1 \cdot 10^{-9} \text{ C}) - 1 \frac{N}{C} = 80 \frac{N}{C}.$$

Odgovor je pod B.

### Vježba 306

Odmor!

**Rezultat:**    ...

### Zadatak 307 (Marta, srednja škola)

Djelovanjem konstantnog električnog polja jakosti  $1 \text{ V/m}$  elektron je pokrenut iz stanja mirovanja te je prešao put  $1 \text{ m}$ . Kroz koje vrijeme je elektron prevalio taj put? (naboj elektrona  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , masa elektrona  $m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )

- A.  $8.61 \cdot 10^{-3} \text{ s}$     B.  $3.37 \cdot 10^{-6} \text{ s}$     C.  $3.33 \text{ s}$     D.  $0.11 \text{ s}$

### Rješenje 307

$$E = 1 \text{ V/m}, \quad s = 1 \text{ m}, \quad Q = e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}, \quad t = ?$$

Jednoliko ubrzano gibanje duž puta  $s$  jest gibanje za koje vrijedi izraz

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \Rightarrow a = \frac{2 \cdot s}{t^2},$$

gdje je  $s$  put za tijelo pošto se pokrenulo iz mirovanja i gibalo jednoliko ubrzano akceleracijom  $a$  za vrijeme  $t$ .

**Drugi Newtonov poučak:** Ako na tijelo djeluje stalna sila u smjeru njegova gibanja, tijelo ima akceleraciju koja je proporcionalna sili, a obrnuto proporcionalna masi tijela te ima isti smjer kao i sila.

$$a = \frac{F}{m} \Rightarrow F = m \cdot a.$$

Ako se u polju jakosti  $E$  nalazi naboj  $Q$ , silu kojom polje djeluje na naboj možemo izračunati iz izraza

$$F = Q \cdot E.$$

$$\left. \begin{array}{l} F = Q \cdot E \\ F = m \cdot a \end{array} \right\} \Rightarrow Q \cdot E = m \cdot a \Rightarrow e \cdot E = m \cdot \frac{2 \cdot s}{t^2} \Rightarrow e \cdot E = m \cdot \frac{2 \cdot s}{t^2} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot s} \Rightarrow t^2 = \frac{2 \cdot m \cdot s}{e \cdot E} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t^2 = \frac{2 \cdot m \cdot s}{e \cdot E} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot s}{e \cdot E}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}}} = 3.37 \cdot 10^{-6} \text{ s}.$$

Odgovor je pod B.

### Vježba 307

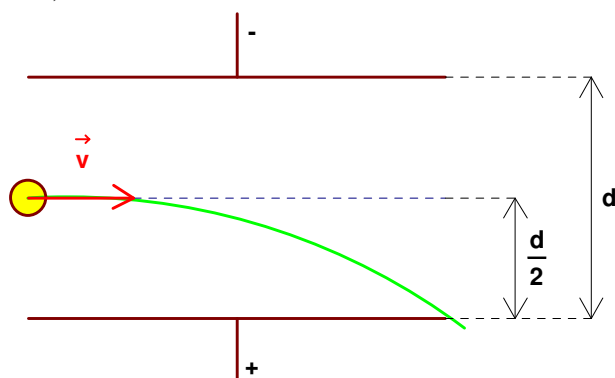
Djelovanjem konstantnog električnog polja jakosti  $2 \text{ V/m}$  elektron je pokrenut iz stanja mirovanja te je prešao put  $2 \text{ m}$ . Kroz koje vrijeme je elektron prevalio taj put? (naboj elektrona  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , masa elektrona  $m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )

- A.  $8.61 \cdot 10^{-3} \text{ s}$     B.  $3.37 \cdot 10^{-6} \text{ s}$     C.  $3.33 \text{ s}$     D.  $0.11 \text{ s}$

**Rezultat:** B.

### Zadatak 308 (Robert, tehnička škola)

Elektron uleti početnom brzinom  $v$  u sredinu između dvije metalne ploče, a izleti uz rub ploče kako je prikazano na slici. Razlika potencijala na pločama je  $U$ . Kolika je promjena energije elektrona? (naboj elektrona  $e$ )



$$A. \frac{1}{2} \cdot e \cdot U \quad B. \frac{1}{3} \cdot e \cdot U \quad C. e \cdot U \quad D. 2 \cdot e \cdot U$$

### Rješenje 308

$$v, \quad s = 0.5 \cdot d, \quad U, \quad Q = e, \quad \Delta E = ?$$

Tijelo obavlja rad  $W$  ako djeluje nekom silom  $F$  na putu  $s$  na drugo tijelo. Ako sila djeluje u smjeru gibanja tijela, vrijedi

$$W = F \cdot s.$$

Kad tijelo obavlja rad, mijenja mu se energija. Promjena energije tijela jednaka je utrošenom radu.

$$W = \Delta E.$$

Razlika potencijala između dviju točaka u električnom polju ili mreži naziva se napon.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Električno polje je stanje u prostoru koje se očituje silama na naboje. Električno polje je vektorska veličina. U točki prostora polje jakosti  $\vec{E}$  djeluje na naboj  $Q$  silom

$$\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$$

ili u skalarnom zapisu

$$F = Q \cdot E.$$

Polje između dviju nabijenih paralelnih ploča udaljenih  $d$  između kojih je napon  $U$  ima svuda jednaku jakost i paralelne silnice, a naziva se homogeno polje.

$$E = \frac{U}{d}.$$

Rad što ga utroši sila električnog polja na putu  $s$  jednak je promjeni energije.

$$\begin{aligned} \Delta E = W &\Rightarrow \Delta E = F \cdot s \Rightarrow \left[ \begin{array}{l} F = Q \cdot E \\ s = \frac{d}{2} \end{array} \right] \Rightarrow \Delta E = Q \cdot E \cdot \frac{d}{2} \Rightarrow \left[ \begin{array}{l} Q = e \\ E = \frac{U}{d} \end{array} \right] \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta E = e \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{d}{2} \Rightarrow \Delta E = e \cdot \frac{U}{2} \Rightarrow \Delta E = \frac{1}{2} \cdot e \cdot U. \end{aligned}$$

Odgovor je pod A.

### Vježba 308

Odmor!

**Rezultat:** ...

### Zadatak 309 (Marina, maturantica)

Iznad loptice za stolni tenis naboja  $Q$  unutar cijevi jednakog promjera lebdi na udaljenosti  $r = 5$  cm, podržavana elektrostatskom silom, druga takva loptica jednakog naboja, mase  $2.8$  g. Koliki su naboji tih loptica? (ubrzanje slobodnog pada  $g = 9.81$  m / s<sup>2</sup>)

$$A. 7.41 \cdot 10^{-8} \text{ C} \quad B. 8.73 \cdot 10^{-8} \text{ C} \quad C. 9.29 \cdot 10^{-8} \text{ C} \quad D. 9.68 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

### Rješenje 309

$$Q_1 = Q_2 = Q, \quad r = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}, \quad m = 2.8 \text{ g} = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ kg}, \quad g = 9.81 \text{ m / s}^2, \quad Q = ?$$

#### Coulombov zakon

Električna sila između dvaju točkastih naboja (Coulombov zakon) u vakuumu dana je relacijom:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2},$$

gdje su  $Q_1$  i  $Q_2$  naboji,  $r$  njihova međusobna udaljenost, konstanta  $k$  za vakuum

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

U sredstvu relativne permitivnosti  $\epsilon_r$  Coulombov zakon glasi

$$F = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2},$$

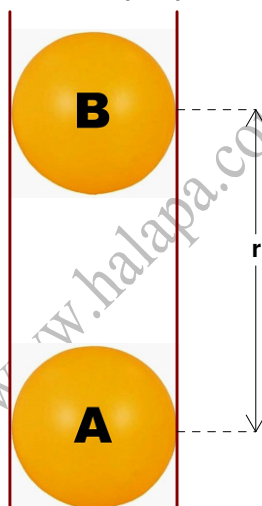
gdje je  $\epsilon_r$  relativna permitivnost (relativna dielektrična konstanta) koja ovisi o sredstvu u kojem se nalaze naboji. To je broj bez dimenzije koji pokazuje koliko puta je manja sila  $F$  ako se naboji nalaze u sredstvu od one u vakuumu.

Silu kojom Zemlja privlači sva tijela nazivamo silom težom. Pod djelovanjem sile teže sva tijela padaju na Zemlju ili pritišću na njezinu površinu.

Akceleracija kojom tijela padaju na Zemlju naziva se akceleracijom slobodnog pada. Prema drugom Newtonovu poučku

$$G = m \cdot g,$$

gdje je  $G$  sila teža,  $m$  masa tijela i  $g$  akceleracija slobodnog pada koja je za sva tijela na istome mjestu na Zemlji jednaka. Težina tijela jest sila kojom tijelo zbog Zemljina privlačenja djeluje na horizontalnu podlogu ili ovjes. Za slučaj kad tijelo i podloga, odnosno ovjes, miruju ili se gibaju jednoliko po pravcu s obzirom na Zemlju, težina tijela je veličinom jednaka sili teže.



Loptica B lebdi jer je njezina težina po iznosu jednaka elektrostatskoj sili:

$$m \cdot g = k \cdot \frac{Q^2}{r^2} \Rightarrow k \cdot \frac{Q^2}{r^2} = m \cdot g \Rightarrow k \cdot \frac{Q^2}{r^2} = m \cdot g \cdot \frac{r^2}{k} \Rightarrow Q^2 = \frac{m \cdot g \cdot r^2}{k} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q^2 = \frac{m \cdot g \cdot r^2}{k} \quad \sqrt{\quad} \Rightarrow Q = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot r^2}{k}} \Rightarrow Q = r \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{k}} =$$

$$= 0.05 \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{2.8 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}}} = 8.73 \cdot 10^{-8} \text{ C}.$$

Odgovor je pod B.

**Vježba 309**

Odmor!

**Rezultat:** ...



### Zadatak 310 (Ljerka, maturantica)

Dva pozitivna točkasta naboja iznosa 1 nC i 10 nC nalaze se u homogenome električnom polju iznosa 1 N/C tako da se njihova spojnica poklapa s jednom od silnica polja. Vektor polja usmjeren je od manjega naboja prema većemu naboju. Koliko iznosi ukupno električno polje u točki koja se nalazi na sredini spojnice dvaju naboja ako su oni udaljeni 2 m?

A.  $10 \frac{N}{C}$     B.  $80 \frac{N}{C}$     C.  $90 \frac{N}{C}$     D.  $100 \frac{N}{C}$

### Rješenje 310

$Q_1 = 1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$ ,     $Q_2 = 10 \text{ nC} = 10^{-8} \text{ C}$ ,     $E_0 = 1 \text{ N/C}$ ,     $2 \cdot r = 2 \text{ m} \Rightarrow r = 1 \text{ m}$ ,  
 $E = ?$

Električno polje je prostor oko električno nabijenih tijela u kojem se očituje djelovanje sile.

### To je vektorsko polje.

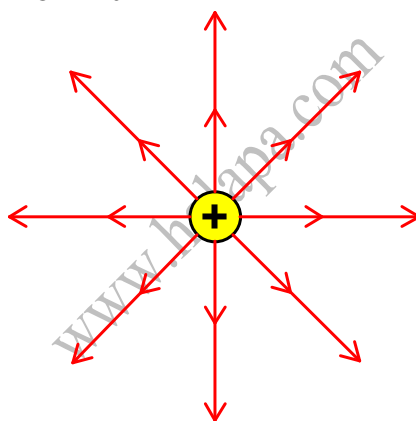
Jednadžba za jakost električnog polja točkastog naboja Q:

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2},$$

gdje je konstanta k za vakuum

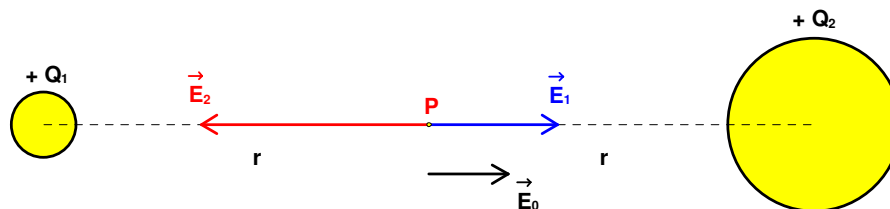
$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

Električno polje pozitivnog točkastog naboja



Ukoliko polje stvaraju dva točkasta naboja  $Q_1$  i  $Q_2$  (ili više naboja) onda vrijedi načelo superpozicije. Ukupno polje tih naboja u proizvoljnoj točki prostora dobije se kao vektorski zbroj pojedinih polja.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$



Ukupno električno polje u točki koja se nalazi na sredini spojnice iznosi:

$$\begin{aligned} E &= E_2 - E_1 - E_0 \Rightarrow E = k \cdot \frac{Q_2}{r^2} - k \cdot \frac{Q_1}{r^2} - E_0 \Rightarrow E = \frac{k}{r^2} \cdot (Q_2 - Q_1) - E_0 = \\ &= \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}}{(1 \text{ m})^2} \cdot (10^{-8} \text{ C} - 10^{-9} \text{ C}) - 1 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 80 \frac{\text{N}}{\text{C}}. \end{aligned}$$

Odgovor je pod B.

### Vježba 310

Odmor!

Rezultat: ...

### Zadatak 311 (Kira, maturantica)

Metalnu kuglu naboja 2 mC dotaknemo s drugom identičnom neutralnom kuglom. Kolika sila djeluje između kugla nakon dodira kada ih razmaknemo na udaljenost 1 m u vakuumu?

A. 9 N      B. 36 N      C. 9 kN      D. 36 kN

### Rješenje 311

$$Q_1 = 2 \text{ mC} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ C}, \quad Q_2 = 0 \text{ C}, \quad r = 1 \text{ m}, \quad F = ?$$

### Coulombov zakon

Električna sila između dvaju točkastih naboja (Coulombov zakon) u vakuumu dana je relacijom:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2},$$

gdje su  $Q_1$  i  $Q_2$  naboji,  $r$  njihova međusobna udaljenost, konstanta  $k$  za vakuum

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

U sredstvu relativne permitivnosti  $\epsilon_r$  Coulombov zakon glasi

$$F = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

gdje je  $\epsilon_r$  relativna permitivnost (relativna dielektrična konstanta) koja ovisi o sredstvu u kojem se nalaze naboji. To je broj bez dimenzije koji pokazuje koliko puta je manja sila  $F$  ako se naboji nalaze u sredstvu od one u vakuumu.

Nakon dodira svaka kugla ima naboj

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ C} + 0 \text{ C}}{2} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ C}.$$

Sila koja djeluje između njih u zraku iznosi:

$$\begin{aligned} F &= k \cdot \frac{Q \cdot Q}{r^2} \Rightarrow F = k \cdot \frac{Q^2}{r^2} \Rightarrow F = k \cdot \left(\frac{Q}{r}\right)^2 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \left(\frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ C}}{1 \text{ m}}\right)^2 = \\ &= 9000 \text{ N} = 9 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Odgovor je pod C.

### Vježba 311

Metalnu kuglu naboja 4 mC dotaknemo s drugom identičnom neutralnom kuglom. Kolika sila djeluje između kugla nakon dodira kada ih razmaknemo na udaljenost 1 m u vakuumu?

A. 9 N      B. 36 N      C. 9 kN      D. 36 kN

Rezultat: D.

### Zadatak 312 (Faks, maturant)

Dva točkasta naboja  $Q_1 = +2 \text{ nC}$  i  $Q_2 = -4 \text{ nC}$  smještene su u zraku na udaljenosti 45 cm. Na kojoj je udaljenosti od  $Q_1$  duž spojnice naboja ukupno električno polje nula?

### Rješenje 312

$$Q_1 = +2 \text{ nC} = +2 \cdot 10^{-9} \text{ C}, \quad Q_2 = -4 \text{ nC} = -4 \cdot 10^{-9} \text{ C}, \quad r = 45 \text{ cm} = 0.45 \text{ m}, \quad r_1 = ?$$

Električno polje je prostor oko električno nabijenih tijela u kojem se očituje djelovanje sile.

### To je vektorsko polje.

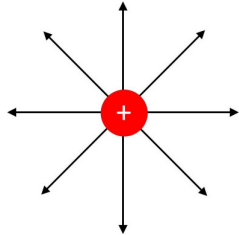
Jednadžba za jakost električnog polja točkastog naboja Q:

$$E = k \cdot \frac{Q}{r^2},$$

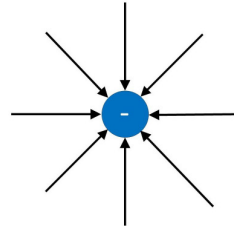
gdje je konstanta k za vakuum

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}.$$

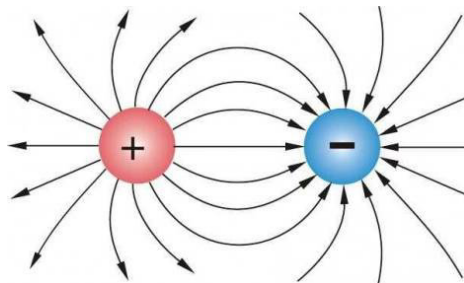
Električno polje pozitivnog točkastog naboja



Električno polje negativnog točkastog naboja



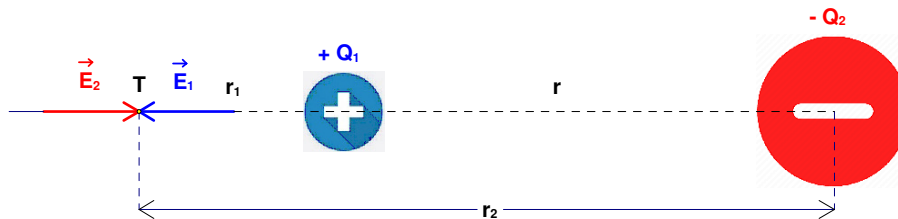
Silnice polja koje proizvode dva udaljena točkasta naboja suprotnog predznaka.



Ukoliko polje stvaraju dva točkasta naboja  $Q_1$  i  $Q_2$  (ili više naboja) onda vrijedi načelo superpozicije. Ukupno polje tih naboja u proizvoljnoj točki prostora dobije se kao vektorski zbroj pojedinih polja.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Uočimo da je  $|Q_2| > |Q_1|$  pa je tražena točka T s lijeve strane naboja  $Q_1$  duž spojnice.



Sa slike vidi se

$$r_2 = r_1 + r.$$

U točki T električna polja naboja  $Q_1$  i  $Q_2$  po iznosu jednaka su, ali suprotnih smjerova.

$$\begin{aligned} \vec{E}_2 + \vec{E}_1 = 0 &\Rightarrow E_2 - E_1 = 0 \Rightarrow E_2 = E_1 \Rightarrow k \cdot \frac{Q_2}{r_2^2} = k \cdot \frac{Q_1}{r_1^2} \Rightarrow k \cdot \frac{Q_2}{r_2^2} = k \cdot \frac{Q_1}{r_1^2} \cdot \frac{r_1^2 \cdot r_2^2}{k \cdot Q_1} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} \cdot r_1^2 = r_2^2 \Rightarrow \frac{4 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{2 \cdot 10^{-9} \text{ C}} \cdot r_1^2 = r_2^2 \Rightarrow \frac{4 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{2 \cdot 10^{-9} \text{ C}} \cdot r_1^2 = r_2^2 \Rightarrow 2 \cdot r_1^2 = r_2^2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow 2 \cdot r_1^2 = r_2^2 \quad / \sqrt{\quad} \Rightarrow r_1 \cdot \sqrt{2} = r_2 \Rightarrow [r_2 = r_1 + r] \Rightarrow r_1 \cdot \sqrt{2} = r_1 + r \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow r_1 \cdot \sqrt{2} - r_1 &= r \Rightarrow r_1 \cdot (\sqrt{2} - 1) = r \Rightarrow r_1 \cdot (\sqrt{2} - 1) = r \cdot \frac{1}{\sqrt{2} - 1} \Rightarrow r_1 = \frac{r}{\sqrt{2} - 1} = \\ &= \frac{0.45 \text{ m}}{\sqrt{2} - 1} = 1.0864 \text{ m} = 108.64 \text{ cm}. \end{aligned}$$

### Vježba 312

Odmor!

**Rezultat:** ...

[www.halapa.com](http://www.halapa.com)