

ELEKTRIKA IN MAGNETIZEM ATOMIKA

Dejan Zupan

REŠENE NALOGE IZ FIZIKE 3

za srednje šole

Ljubljana 2014

Kazalo

1	Elektrika	5
1.1	Coulombov zakon	6
1.2	Jakost električnega polja	12
1.3	Snov v električnem polju	28
1.4	Električna napetost in električni potencial	30
1.5	Kondenzator	33
1.6	Energija kondenzatorja	43
1.7	Gibanje delcev v električnem polju	46
1.8	Električni tok	51
1.9	Električna upornost	53
1.9.1	Ohmov zakon	54
1.9.2	Vezava upornikov	56
1.10	Merjenje električnega toka, napetosti in upornosti	71
1.11	Električna moč	82
2	Magnetizem	91
2.1	Magnetna sila na delce z električnim nabojem	92
2.2	Magnetna sila na tokovni vodnik	99
2.3	Navor magnetne sile	104
2.4	Magnetno polje vodnika in tuljave	110
2.4.1	Magnetne sile med vzporednimi vodniki	119
2.5	Snov v magnetnem polju	125
2.6	Magnetna indukcija	126
2.6.1	Magnetni pretok	126
2.6.2	Indukcija pri premikanju vodnika po magnetnem polju	130
2.6.3	Faradayev indukcijski zakon	134
2.6.4	Lastna indukcija	140
2.6.5	Magnetna energija tuljave	143
2.7	Izmenični električni tok	145
2.8	Transformator	148
2.9	Električni nihajni krog	150

3	Atomika	153
3.1	Fotoni in fotoelektrični pojav	154
3.2	Energijski nivoji elektronov v atomih	159
3.3	Rentgenska svetloba	163
3.4	Jedro atoma	164
3.4.1	Izotopska sestava jedra	165
3.4.2	Masni defekt jedra	165
3.4.3	Einsteinova energijska enačba	166
3.5	Jedrske reakcije	169
3.6	Radioaktivnost	171

1.1 Coulombov zakon

1. Kovinska palica je naelektrena z negativnim nabojem $35\mu\text{C}$. Koliko več oziroma manj ima palica elektronov od protonov? Osnovni naboj je $1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$.

Podatki:

$$e = 35\mu\text{C} = 35 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

$$e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$$

Telo je pozitivno ali negativno naelektreno, če ima več pozitivnega oziroma negativnega naboja. Osnovna delca z nabojem sta proton, ki nosi pozitivni osnovni naboj, in elektron, ki nosi negativni osnovni naboj. Telo je tako pozitivno naelektreno, kadar ima več protonov kot elektronov, in negativno naelektreno, kadar ima več elektronov kot protonov.

Število elektronov, ki ustreza naboju e , dobimo tako, da naboj delimo z nabojem enega elektrona, torej osnovnim nabojem:

$$N = \frac{e}{e_0}$$

Število elektronov, ki jih ima v danem primeru kovinska palica več kot protonov, je tako:

$$N = \frac{35 \cdot 10^{-6}\text{C}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}} = 2,188 \cdot 10^{14} = \underline{\underline{2,2 \cdot 10^{14}}}$$

2. Pri dotiku dveh teles eno telo odda drugemu 25 milijonov elektronov. S kolikšnim nabojem se pri tem naelektrita telesi? Osnovni naboj je $1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$.

Podatki:

$$N = 25 \cdot 10^6$$

$$e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$$

Naboj, ki ga nosi 25 milijonov elektronov, izračunamo tako, da število elektronov pomnožimo z nabojem enega elektrona, osnovnim nabojem:

$$e = Ne_0 = 25 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C} = 4,0 \cdot 10^{-12}\text{C} = \underline{\underline{4,0\text{pC}}}$$

Telo, ki odda elektrone, se naelektri z nabojem $+4,0\text{pC}$, telo, ki elektrone prejme, pa z nabojem $-4,0\text{pC}$.

3. Naboj $7,6\mu\text{C}$ je enakomerno razporejen po površini krogle s polmerom 30cm . Koliko manj je elektronov od protonov na vsakem cm^2 te krogle? Osnovni naboj $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$.

Podatki:

$$e = 7,6\mu\text{C} = 7,6 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

$$r = 30\text{cm} = 0,30\text{m}$$

$$S_1 = 1,0\text{cm}^2 = 1,0 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

$$e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$$

Najprej izračunajmo, koliko manj je elektronov od protonov na celi površini. To storimo tako, da celoten naboj delimo z osnovnim nabojem:

$$N = \frac{e}{e_0} = \frac{7,6 \cdot 10^{-6}\text{C}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}} = 4,75 \cdot 10^{13}$$

Celotna površina krogle meri:

$$S = 4\pi r^2 = 4\pi \cdot (0,30\text{m})^2 = 1,131\text{m}^2$$

Število manjkajočih elektronov na $1,0\text{cm}^2$ površine pa dobimo z razmerjem:

$$\frac{N_1}{N} = \frac{S_1}{S}$$

To lahko naredimo, saj je naboj enakomerno razporejen po površini. Število manjkajočih elektronov na $1,0\text{cm}^2$ površine krogle je torej:

$$\begin{aligned} N_1 &= N \cdot \frac{S_1}{S} = \frac{4,75 \cdot 10^{13} \cdot 1,0 \cdot 10^{-4}\text{m}^2}{1,131\text{m}^2} = \\ &= 4,200 \cdot 10^9 = \underline{\underline{4,2 \cdot 10^9}} \end{aligned}$$

4. Delca z nabojema $e_1 = 2,3\text{C}$ in $e_2 = 4,5\text{C}$ sta na razdalji 60cm . Kolikšna sila deluje med njima? Je ta sila privlačna ali odbojna? Influenčna konstanta je $\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$.

Podatki:

$$e_1 = 2,3\mu\text{C} = 2,3 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

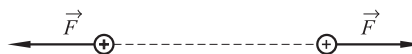
$$e_2 = 4,5\mu\text{C} = 4,5 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

$$r = 60\text{cm} = 0,60\text{m}$$

$$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

Med naelektrenimi delci deluje električna sila, ki je **privlačna**, če imata delca **različno predznačen naboj** (pozitiven in negativen naboj), in **odbojna**, če imata delca **enak naboj** (oba pozitivna oziroma oba negativna naboja).

V tej nalogi sta oba delca naelektrena pozitivno, zato je sila med njima odbojna:



Velikost električne sile med naelektrenimi delci izračunamo s Coulombovim zakonom:

$$F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Enačbo uporabljamo za izračunavanje velikosti sile F med točkastima delcema z nabojeja e_1 in e_2 , ki sta na razdalji r . V enačbi nastopa osnovna konstanta električnega polja, ki jo imenujemo influenčna konstanta:

$$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

Velikost odbojne sile med delcema je v tem primeru:

$$\begin{aligned} F &= \frac{2,3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{4\pi \cdot 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} (0,60 \text{ m})^2} = \\ &= \frac{2,3 \text{ C} \cdot 4,5 \text{ C}}{4\pi \cdot 8,9 \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} (0,60 \text{ m})^2} = \\ &= 0,2571 \text{ N} = \underline{\underline{0,26 \text{ N}}} \end{aligned}$$

Za lažji izračun s kalkulatorjem smo v enačbi okrajšali $10^{-6} \cdot 10^{-6}$ in 10^{-12} .

Pojasnilo:

Influenčno konstanto, ki nastopa v Coulombovem zakonu, štejemo za eno osnovnih naravnih konstant in ponavadi zahtevamo, da jo dijaki znajo na pamet. V nalogah zato ponavadi ni podana. Ko spoznamo enoti za električni tok (A - amper) in električno napetost (V - volt), influenčno konstanto pišemo z drugo enoto:

$$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

5. V vodikovem atomu sta proton in elektron na razdalji 0,053 nm. S kolikšno silo delujeta drug na drugega? Je sila med njima privlačna ali odbojna? Proton nosi pozitivni osnovni naboj, elektron pa negativni osnovni naboj.

Podatki:

$$r = 0,053 \text{ nm} = 0,053 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Upoštevajmo, da imata oba delca osnovni naboj:

$$e_1 = e_2 = e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

in s Coulombovim zakonom izračunajmo velikost sile med njima:

$$\begin{aligned} F &= \frac{e_0 e_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{4\pi \cdot 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot (0,053 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} = \\ &= \frac{1,6 \text{ C} \cdot 1,6 \text{ C} \cdot 10^{-26}}{4\pi \cdot 8,9 \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot (0,053 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} = \\ &= 8,149 \cdot 10^{-8} \text{ N} = \underline{\underline{8,1 \cdot 10^{-8} \text{ N}}} \end{aligned}$$

Za hitrejši izračun s kalkulatorjem smo v enačbi okrajšali $\frac{10^{-19} \cdot 10^{-19}}{10^{-12}} = 10^{-26}$. V podobnih računih je to vedno dobro storiti.

6. Enaka naboja sta na razdalji 0,15 mm in se odbijata s silo 0,74 N. Kolikšna sta naboja?

Podatki:

$$r = 0,15 \text{ mm} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$F = 0,74 \text{ N}$$

V Coulombovem zakonu upoštevajmo, da sta naboja enaka in njun proukt pišimo kot kvadrat:

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

Izračunajmo naboj:

$$\begin{aligned} e^2 &= F4\pi\epsilon_0 r^2 \\ e &= \sqrt{F4\pi\epsilon_0 r^2} = \\ &= \sqrt{0,74 \text{ N} \cdot 4\pi \cdot 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot (0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = \\ &= 1,365 \cdot 10^{-9} \text{ C} = \underline{\underline{1,4 \text{ nC}}} \end{aligned}$$

7. Enaka naboja $e = 0,53 \text{ mC}$ se odbijata s silo 9,3 N. Na kolikšni razdalji sta? Sta naboja enako ali različno predznačena?

Podatki:

$$e = 0,53 \text{ mC} = 0,53 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$F = 9,3 \text{ N}$$

Naboja se odbijata, torej sta enako predznačena, oba sta bodisi pozitivna bodisi negativna. Razdaljo med njima izračunajmo s pomočjo Coulombovega zakona:

$$F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$r^2 = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 F}$$

$$r = \sqrt{\frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 F}} = \sqrt{\frac{0,53 \cdot 10^{-3} \text{ C} \cdot 0,53 \cdot 10^{-3} \text{ C}}{4\pi \cdot 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot 9,3 \text{ N}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,53 \text{ C} \cdot 0,53 \text{ C}}{4\pi \cdot 8,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot 9,3 \text{ N}}} = 16,43 \text{ m} = \underline{\underline{16 \text{ m}}}$$

8. Naboja $e_1 = 12 \mu\text{C}$ in $e_2 = -17 \mu\text{C}$ se privlačita s silo 4,1 N. Kolikšna je razdalja med njima?

Podatki:

$$e_1 = 12 \mu\text{C} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$e_2 = -17 \mu\text{C} = -17 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$F = 4,1 \text{ N}$$

Iz Coulombovega zakona izrazimo in izračunajmo razdaljo med nabojema. Pazimo, da pri vnosu podatkov v končno enačbo za naboj e_2 vstavimo njegovo absolutno vrednost $17 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, saj v nasprotnem primeru dobimo negativno vrednost pod korenem in izračun ni možen:

$$r^2 = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 F}$$

$$r = \sqrt{\frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 F}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 17 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{4\pi \cdot 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot 4,1 \text{ N}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{12 \text{ C} \cdot 17 \text{ C}}{4\pi \cdot 8,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot 4,1 \text{ N}}} = 0,6670 \text{ m} = \underline{\underline{0,67 \text{ m}}}$$

Opomba:

V Coulombov zakon vedno vstavljamo le pozitivne, torej absolutne vrednosti nabojev.

9. Dva naboja sta oddaljena za r . Električna sila med njima je F . Kako se sila spremeni, zveča ali zmanjša, če ju oddaljimo na dvojno razdaljo ali ju približamo na polovično razdaljo?

Podatki:

$$r_1 = 2r$$

$$r_2 = \frac{r}{2}$$

Za prvi primer v Coulombov zakon vstavimo $r_1 = 2r$ namesto r :

$$F_1 = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 (2r)^2} = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 4r^2} = \frac{1}{4} \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Sedaj upoštevajmo, da na razdalji r deluje med nabojema sila $F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, in dobimo:

$$F_1 = \frac{1}{4} F$$

Na dvojni razdalji je sila med nabojema manjša in je enaka četrtini prvotne sile.

V drugem primeru v Coulombov zakon vstavimo $r_2 = \frac{r}{2}$ in podobno kot prej izpeljimo:

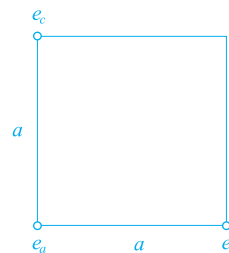
$$F_1 = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 \left(\frac{r}{2}\right)^2} = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 \frac{r^2}{4}} = 4 \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Od tod je:

$$F_2 = 4F$$

Sila na polovični razdalji je 4-krat večja kot na prvotni razdalji.

10. Trije naboji $e_a = 6,4 \mu\text{C}$, $e_b = -7,3 \mu\text{C}$ in $e_c = -5,7 \mu\text{C}$ so razporejeni v treh ogliščih kvadrata s stranico 15 cm, kot kaže slika. S kolikšno silo delujeta naboja e_b in e_c na naboj e_a ?



Podatki:

$$e_a = 6,4 \mu\text{C}$$

$$e_b = -7,3 \mu\text{C}$$

$$e_c = -5,7 \mu\text{C}$$

$$a = 15 \text{ cm}$$