

8 elektrika

8.1 ohmov zakon

- Po sklenjenem električnem krogu teče tok 0,5 A. Kolikšen naboj se pretoči po njem v 24 urah? Kolikšno delo prejme v tem času grelnik v krogu, če je med priključkoma grelnika napetost 220 V? Izrazi to delo v kWh!

Rp: Najprej izračunamo naboj (pri tem najprej pretvorimo ure v sekunde):

$$e = I \cdot t = 0,5 \text{ A} \cdot 86400 \text{ s}$$

$$e = 43200 \text{ As}$$

Zatem dobljeni naboj uporabimo pri računanju dela:

$$A = U \cdot e$$

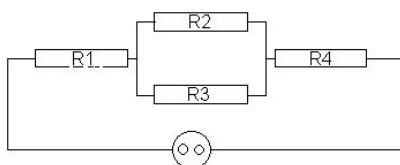
$$A = 220 \text{ V} \cdot 43200 \text{ As}$$

$$A = 9504000 \text{ J}$$

... in ker je 1 kWh = 3,6 MJ, delimo dobljeno delo s 3,6 MJ in tako dobimo delo, izraženo v kWh:

$$A = (9504000 \text{ J}) / (3600000 \text{ J}) = 2,64 \text{ kWh}$$

- Kolikšne upore lahko sestavimo z različnimi vezavami treh upornikov : 100 kΩ, 50 kΩ in 40 kΩ - nariši te vezave?!
- Štiri enake upornike z upornostjo po 20 Ω priključimo na napetost 12 V kot kaže slika. Kolikšni tokovi tečejo skozi posamezne veje vezja? Glej sliko 36!



Slika 36: Vezava uporov

Rp: Najprej je treba začeti z zakoni o toku in napetosti pri različnih vezavah: Za vzporedno vezavo velja, da je napetost vedno enaka ($U = U' = U''$), tok se pa sešteva ($I = I' + I''$). Za zaporedno vezavo velja ravno obratno.

$$1/(RX) = 1/(R2) + 1/(R3) = 1/(20 \Omega) + 1/(20 \Omega) = 2/(20 \Omega) \quad \Rightarrow \quad RX = 10 \Omega$$

$$\text{skupni upor} \Rightarrow R = R1 + RX + R4 =$$

$$= 20 \Omega + 10 \Omega + 20 \Omega = 50 \Omega$$

$$\text{skupni tok} \Rightarrow I = U/R = (12 \text{ V}) / (50 \Omega) = 0,24 \text{ A}$$

ker je $I = I1 = I4 = I2 + I3$, sledi:

$$0,24 \text{ A} = I2 + I3$$

$$I2 = 0,12 \text{ A} = I3$$

- Štiri enake upornike z upornostjo po 40 Ω priključimo na napetost 20 V kot kaže slika. Kolikšni tokovi tečejo skozi posamezne veje vezja? Glej sliko 37!

Rp: Električni tok si lahko predstavljamo, kot vodo, ki teče skozi vodovod. Molekule vode si lahko zamislimo kot osnovne naboje, ki prenašajo energijo k upornikom.

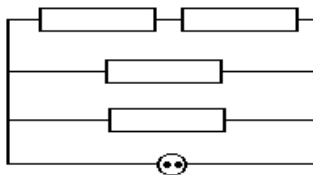
Torej velja, da je celotni tok izvira enak:

$$I = I1 + I3 + I4$$

Moramo se še zavedati, da sta $I1$ in $I2$ enaka. Ter, da velja pri naši vzporedni vezavi:

$$1/R = 1/(R1 + R2) + 1/(R3) + 1/(R4)$$

$$1/R = 1/(40 \Omega + 40 \Omega) + 1/(40 \Omega) + 1/(40 \Omega)$$



Slika 37: Vezava uporov

$$R = 16 \Omega$$

Prva rešitev je torej, da čez izvir teče tok:

$$I = U/R$$

$$I = (20 \text{ V})/(16 \Omega)$$

$$I = 1,25 \text{ A}$$

Druga in tretja rešitev:

$$I_3 = I_4$$

$$I_3 = U/R$$

$$I_3 = 20 \text{ V}/(40 \Omega)$$

$$I_3 = 0,5 \text{ A}$$

Zadnji rešitvi:

$$I_1 = I_2$$

$$I = 2I_1 + I_3 + I_4$$

$$I_1 = (I - I_3 - I_4)/2$$

$$I_1 = (1,25 \text{ A} - 1 \text{ A})/2$$

$$I_1 = 0,125 \text{ A}$$

zdi se mi bolj logično:

$$I = I_1 + I_3 + I_4$$

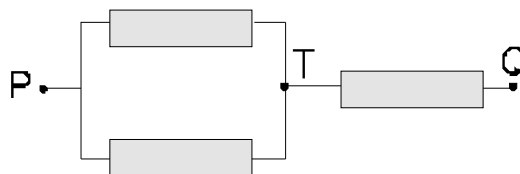
$$I_1 = I - I_3 - I_4$$

$$I_1 = 1,25 \text{ A} - 1 \text{ A}$$

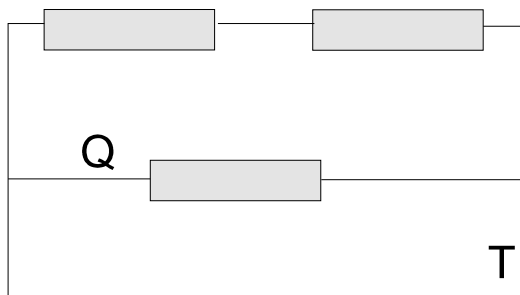
$$I_1 = 0,25 \text{ A} = I_2$$

tako tudi ugodim zahtevi: $I = I_1 + I_3 + I_4 = 0,25 \text{ A} + 0,5 \text{ A} + 0,25 \text{ A} = 1,25 \text{ A}$

5. Med točkama "P" in "Q" je napetost 12 V. Kolikšna je napetost med točkama "T" in "Q", če imajo vsi uporniki v vezju enako upornost?

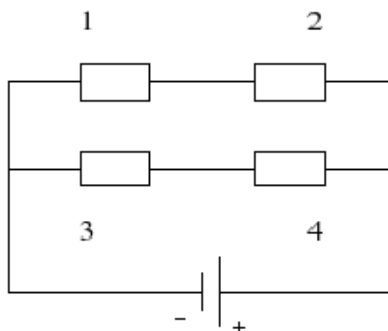


6. Tok po žici "Q" je 1 A. Koliko je skupni tok po žici "T", če imajo vsi uporniki v vezju enako upornost?



7. Štiri upornike povežemo tako, kot kaže slika. Upori posameznih upornikov so $R_1 = 16 \Omega$, $R_2 = 22 \Omega$, $R_3 = 10 \Omega$ in $R_4 = 8 \Omega$. Napetost baterije je 10 V.

- (a) Kolikšna je napetost na drugem uporniku?
 (b) Kolikšen tok teče skozi četrti upornik?
 (c) Kolikšen je skupni upor vezave?



Rp: $U_2 = 5.79 \text{ V}$, $I_4 = 0.556 \text{ A}$, $R = 12.2 \Omega$

8. Na baterijo priključimo upornik za $0,5 \Omega$. Pri tem rabi upornik moč $2,63 \text{ W}$. Ta upornik zamenjamo z upornikom za 1Ω . Ta spet troši enako moč. Kolikšna sta notranja upornost in gonilna napetost baterije?
9. Žarnico, ki je narejena za 110 V in 250 W , bi radi priključili na napetost 220 V . Kakšen predupornik potrebujemo in koliko moči troši le-ta?

Rp: Predupornik bo imel enako napetost in moč kot žarnica, saj mora biti vsota napetosti žarnice in predupornika enaka 220 V .

s formulo $R = (U^2)/P$ bomo izračunali upor predupornika:

$$R = (U^2)/P$$

$$R = ((110 \text{ V})^2)/(250 \text{ W}) = 48,4 \Omega$$

Moč predupornika je enaka moči žarnice => 250 W

10. Potrebujemo 500 W grelec. Koliko $0,3 \text{ mm}$ debele žice cekas moramo vzeti za ta grelec, če naj bo narejen za napetost 220 V ? ($\zeta = 1,4 (\Omega \text{mm}^2)/\text{m}$)
11. Enako debeli in enako dolgi žici iz bakra in aluminija zvežemo zaporedno in ju priključimo na napetost 2 V . Kolikšna je napetost na vsaki žici? ($\zeta_{Cu} = 0,017 (\Omega \text{mm}^2)/\text{m}$, $\zeta_{Al} = 1,4 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$)
12. Tri enako dolge bakrene žice različnih presekov: 1 mm^2 , 2 mm^2 , 3 mm^2 , zvežemo zaporedno in priključimo na napetost 12 V . Kolikšne so napetosti na posameznih odsekih?
13. Enako debeli in enako dolgi žici iz bakra in aluminija zvežemo vzporedno in napeljemo po njih skupen tok 2 A . Kolikšna tokova tečeta po vsaki žici? ($\zeta_{Cu} = 0,017 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$, $\zeta_{Al} = 1,4 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$)
14. Ko merimo upor nekega upornika, pokaže voltmetr, ki je vezan vzporedno k uporniku, napetost 200 V . Ampermetr je zvezan zaporedno k obema in pokaže tok 50 mA . Kolikšen je merjeni upor in na kolikšno napetost je priključeno vezje? Upor voltmetra je 100Ω .
15. Ko merimo upor nekega upornika, pokaže ampermetr, ki je vezan zaporedno k uporniku, tok 100 mA . Voltmetr je vezan vzporedno k obema pa pokaže napetost 250 V . Kolikšen je merjeni upor in kolikšen tok teče skozi vezje? Upor ampermetra je 5Ω .
16. Tok 10 A teče po 1 m dolgi žici s presekom $0,1 \text{ mm}^2$. Koliko toplote se sprosti v žici v času 1 s ? Približno za koliko se žica segreje? Izgubo toplote v okolico zanemarimo. ($\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$, $c_p = 378 \text{ J}/(\text{kgK})$, $\zeta = 0,017 (\Omega \text{mm}^2)/\text{m}$)

17. Skozi toplotno izolirano cev teče voda; volumski tok $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ je stalen. V cevi je vgrajen grelec z upornostjo 1Ω . Za koliko se segreje voda v cevi, če je grelec priključen na napetost 220 V ? Upoštevaj, da se le 70% električne moči potroši za segrevanje vode!
18. Po bakreni žici s presekom 1 mm^2 pošljemo izmenični tok z amplitudo 10 A za 1 s . Za koliko se žica segreje? ($\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$, $c_p = 378 \text{ J/(kgK)}$, $\zeta = 0,017 (\Omega\text{mm}^2)/\text{m}$)
19. Brivnik je izdelan za napetost 110 V in troši moč 40 W . Kolikšen predupornik potrebujemo, če želimo brivnik priključiti na napetost 220 V ?
20. V varovalki je bakrena žička s presekom $0,05 \text{ mm}^2$. Pri kolikšnem tokovnem sunku bo varovalka pregorela?
21. Na baterijo priključimo prvič upornik za 2Ω , drugič pa upornik za 5Ω . V prvem primeru teče tok $0,70 \text{ A}$ v drugem pa $0,35 \text{ A}$. Kolikšna sta gonilna napetost baterije in njen upor?
22. Dve žarnici sta zaporedno priključeni na napetost 30 V . Prva žarnica je narejena za moč 30 W pri napetosti 30 V , druga pa za moč 60 W pri napetosti 220 V . Kolikšen tok teče skozi žarnici in kolikšen je padec napetosti na vsaki žarnici?
23. Elektromotor za enosmerno napetost 220 V poganja pumpo, ki dviga 10 litrov vode na sekundo 40 m visoko. Najmanj kolikšen tok mora teči skozi elektromotor?
24. Z 10 -kilovatnim bencinskim motorjem poganjamo dinamo stroj za enosmerno napetost 220 V . Kolikšen tok lahko daje dinamo stroj pri izkoristku 80% ? Kolikšen toplotni tok oddaja dinamo stroj, če je njegova temperatura stalna?
25. Kolikšna je povprečna hitrost potovanja prevodniških elektronov, če teče po srebrni žici s premerom $0,8 \text{ mm}$ tok 10 A ?
26. Kolikšen tok teče po bakreni žici s premerom $0,8 \text{ mm}$, če se prevodniški elektroni premikajo s povprečno hitrostjo $0,75 \text{ mm/s}$?
27. Kolikšna je gostota prevodniških elektronov bakra z gostoto $8,93 \text{ kg/dm}^3$? S kolikšno hitrostjo se gibljejo, če teče po žici s polmerom $0,5 \text{ mm}$ tok 5 A ? Kolikšna pa je njihova hitrost pri termičnem gibanju pri temperaturi 0°C ?
28. Kolikšna je gostota prevodniških elektronov cinka z gostoto $7,15 \text{ kg/dm}^3$? S kolikšno hitrostjo se gibljejo, če teče po žici s polmerom 1 mm tok 2 A ? Kolikšna pa je njihova hitrost pri termičnem gibanju pri temperaturi -10°C ?
29. Žarnica je narejena tako, da pri napetosti 220 V troši moč 100 W . Kolikšen je upor te žarnice, kolikšen tok teče skozi njo in v kolikšnem času porabi žarnica 1 kWh ? (svetlobni izkoristek žarnice je 7%)
30. Koliko ledu lahko stalimo z 1 kWh ?

Rp: Najprej moramo ugotoviti koliko energije je pravzaprav 1 kWh . To je razvidno že iz samih enot.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 36 \cdot 10^5 \text{ J}$$

To bi morale zadostovati.

$$Q = q_i \cdot m$$

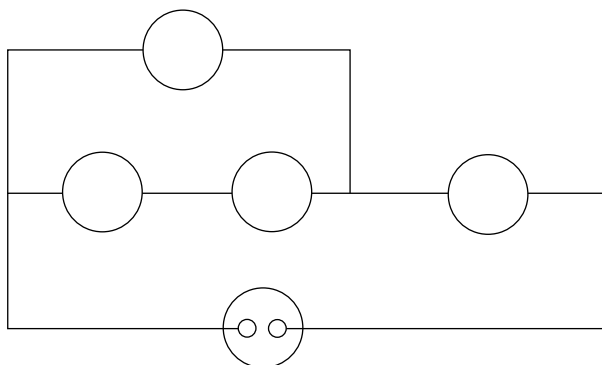
$$m = Q/(q_i)$$

$$m = \frac{36 \cdot 10^5 \text{ J}}{336 \text{ kJ/kg}}$$

$$m = 11 \text{ kg}$$

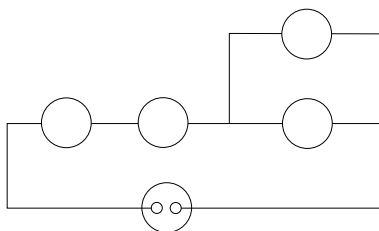
31. Kolikšno maso lahko z 1 kWh nesemo iz enega vrha na drugi? Višinska razlika je 2000 m .
32. Imamo dve žarnici. Prva je 100 W pri 220 V , druga pa 40 W pri napetosti 220 V . Žarnici zvezemo zaporedno in priključimo na napetost 220 V . Koliko je upor vsake žarnice? Kolikšen tok teče skozi žarnico? Koliko je napetost na vsaki žarnici? Kolikšno moč trošita žarnici skupaj in koliko vsaka zase?

33. V 1 l vode je potopljen električni grelec z močjo 1000 W, ki je priključen na napetost 220 V. Koliko je upor grelca, kolikšen tok teče skozenj in v kolikšnem času se bo voda segrela za 80°C ?
34. Dve žici z dolžino 1 m in presekom 1 mm^2 priključimo na napetost 1,5 V. Ena žica je bakrena, druga pa aluminijasta. Kolikšen tok teče skozi žici, če ju vežemo vzporedno? Koliko je razmerje med napetostima na žicah, če sta vezani zaporedno?
35. V električni krog so povezane štiri žarnice in baterija kot je narisano na shemi vezave. Skozi vsako izmed žarnic teče tok, zapisan v tabeli.



| žarnica | tok [A] |
|---------------|---------|
| \check{Z}_1 | 0,25 |
| \check{Z}_2 | 0,25 |
| \check{Z}_3 | 0,50 |
| \check{Z}_4 | 0,75 |

- (a) Preiši shemo vezave in v risbo vriši pravilno razporeditev žarnic. Žarnice označi s šrkami $\check{Z}_1, \check{Z}_2, \check{Z}_3, \check{Z}_4$.
- (b) V sliko vriši ampermeter, tako da bo meril tok skozi celotno vezje.
- (c) V kolikšnem času se bo baterija izpraznila, če je bila na začetku polna? Na bateriji je zapisano, da je v njej shranjen naboj 625 mAh.
- (d) Koliko naboja v tem času steče skozi žarnico \check{Z}_3 ?
- (e) Katere žarnice svetijo, ko pregori žarnica \check{Z}_2 ?
- (f) V električno vezje na sliki nariši dodatni vodnik tako, da bodo zopet svetile vse žarnice razen \check{Z}_2 , ki je pregorela!
36. V električni krog so povezane štiri žarnice in baterija kot je narisano na shemi vezave. Skozi vsako izmed žarnic teče tok, zapisan v tabeli.



| žarnica | tok [A] |
|---------------|---------|
| \check{Z}_1 | 0,25 |
| \check{Z}_2 | 0,25 |
| \check{Z}_3 | 0,50 |
| \check{Z}_4 | 0,50 |

- (a) Preiši shemo vezave in v risbo vriši pravilno razporeditev žarnic. Žarnice označi s šrkami $\check{Z}_1, \check{Z}_2, \check{Z}_3, \check{Z}_4$.
- (b) V sliko vriši ampermeter, tako da bo meril tok skozi celotno vezje.
- (c) V kolikšnem času se bo baterija izpraznila, če je bila na začetku polna? Na bateriji je zapisano, da je v njej shranjen naboj 725 mAh.
- (d) Koliko naboja v tem času steče skozi žarnico \check{Z}_1 ?
- (e) Katere žarnice svetijo, ko pregori žarnica \check{Z}_3 ?
- (f) V električno vezje na sliki nariši dodatni vodnik tako, da bodo zopet svetile vse žarnice razen \check{Z}_3 , ki je pregorela!

8.2 električno polje

- Električna naboja $e_1 = 3 \text{ mAs}$ in $e_2 = -3 \text{ mAs}$ sta razmaknjena 10 cm. Razdalja med njima je stalna. V točko, ki je od prvega naboja oddaljena 3 cm od drugega pa 7 cm postavimo tretji naboj $e = 0,5 \text{ mAs}$. Koliko je električna sila, ki deluje nanj?

Rp: $F = F_1 + F_2 = 1,77 \cdot 10^7 \text{ N}$

- Električna naboja $e_1 = 5 \text{ mAs}$ in $e_2 = 5 \text{ mAs}$ sta razmaknjena 10 cm. Razdalja med njima je stalna. V točko, ki je od prvega naboja oddaljena 7 cm od drugega pa 3 cm postavimo tretji naboj $e = 0,3 \text{ mAs}$. Koliko je električna sila, ki deluje nanj?

Rp: $F = F_1 - F_2 = 1,22 \cdot 10^7 \text{ N}$

- Naboja $e_2 = 1 \mu\text{C}$ in $e_1 = 1 \mu\text{C}$ sta razmaknjena 50 cm. Na katerem mestu med njima je jakost električnega polja najmanjša in koliko je ($1 \text{ C} = 1 \text{ As}$) ?
- Koliko je jakost električnega polja v točki, ki je 1 m oddaljena od obeh nabojev v prejšnji nalogi?
- Koliko je jakost električnega polja v točki, ki je 1 m oddaljena od obeh nabojev v prejšnji nalogi, če je $e_2 = -2 \mu\text{C}$?
- Kondenzator s kapaciteto 8 mF priključimo na napetost 500 V in ga potem izpraznimo skozi 3 cm^3 vode. Za koliko se ta voda segreje?
- Kondenzator z razdaljo med ploščama 4 dm in površino plošč 400 cm^2 priključimo na napetost 2000 V.
 - Koliko je kapaciteta?
 - Kolikšen naboj se nabere na ploščah?
 - Kolikšna je jakost polja v kondenzatorju?
 - Kolikšna rezultanta deluje na delec z maso 0,2 mg in nabojem $2 \cdot 10^{-7} \text{ As}$, ki se znajde v polju kondenzatorja?
- V dveh nasprotnih ogliščih kvadrata s stranico 10 cm se nahajata naboja $e_1 = e_2 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ As}$. Kolikšna sila deluje na naboj $e_3 = -2 \cdot 10^{-9} \text{ As}$, ki se nahaja v tretjem oglišču? Koliko je jakost električnega polja na sredi med nabojev e_1 in e_2 ?
- Kroglici z nabojevma $1,11 \cdot 10^{-11} \text{ As}$ in $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ As}$ sta oddaljeni za 4 cm. Kolikšna je jakost električnega polja v točki, ki je od prve kroglice oddaljena 5 cm, od druge pa 3 cm?
- Kovinsko kroglico premera 2 cm in z maso 50 g naelektrimo z nabojem $0,5 \mu\text{C}$ in na 60 cm dolgi vrvici obesimo v homogeno električno polje z jakostjo 100 V/m. Kolikšen je odklon kroglice od navpičnice?
- Med vodoravnima elektrodama ploščatega kondenzatorja, ki sta 4 cm narazen, pada oljna kapljica s premerom $1 \mu\text{m}$. Kolikšna bi morala biti napetost med ploščama, da bi kapljica lebdela? Kolikšna mora biti napetost med ploščama, da se kapljica ustavi? Naboj kapljice je $3e_0$. Gostota olja je $0,9 \text{ g/cm}^3$.
- Enaki kroglici iz aluminija s polmerom 5,6 mm in maso 2 g visita na 0,5 m dolgih nitkah. Kolikšen je naboj kroglic, če sta razmaknjeni 20 cm? Kolikšen naboj pa je potreben, da sta kroglici enako razmaknjeni, če ju potopimo v alkohol z gostoto $0,8 \text{ g/cm}^3$? Influenčna konstanta v alkoholu je 26-krat večja kot v zraku!
- Dve enaki kroglici nosita enak naboj $e_1 = e_2 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ As}$. Visita na 15 cm dolgih vrvicah, ki sta pritrjeni v isti točki in med sabo oklepata kot 15° . Izračunaj maso obeh kroglic! Nariši!
- Dve kroglici $m_1 = m_2 = 0,1 \text{ g}$ visita na 15 cm dolgih vrvicah, ki sta pritrjeni v isti točki. Kolikšen mora biti naboj na vsaki kroglici, če vrvici oklepata kot 30° ? Oba naboja sta enaka. Nariši!

15. Na kondenzatorju s kapaciteto 1 nF se nabere naboj $0,008 \mu\text{As}$. Kolikšna je napetost na katero smo kondenzator priključili? Kolikšna je energija električnega polja v kondenzatorju?
16. Napetost na kondenzatorju s kapaciteto 10 pF izmerimo s statičnim voltmetrom, ki ima kapaciteto 2 pF. Kolikšna je bila napetost na kondenzatorju, če namerimo 560 V?
17. Ploščati kondenzator, katerega plošči imata površini po 20 dm^2 in sta 3 mm narazen, nabijemo z napetostjo 2 kV. Kolikšen naboj se nabere na ploščah? Kolikšna sta jakost električnega polja in energija električnega polja v kondenzatorju?
18. Elektrodi ploščatega kondenzatorja pokrivata po 100 cm^2 in sta 2 mm vsaksebi. Med njima je zrak. Kondenzator priključimo na napetost 500 V. Nato elektrodi popolnoma izoliramo in razmaknemo na razdaljo 6 mm. Kolikšna je potem napetost med ploščama? Koliko dela smo opravili pri razmaknitvi?
19. Oblak lebdi na višini 1 km nad zemeljskim površjem. Nabit je z nabojem 10 As. Kolikšna je napetost med oblakom in Zemljo, če je spodnja stran oblaka s površino $0,5 \text{ km}^2$ vzporedna z zemeljskim površjem? Predpostavi, da je električno polje homogeno in da so silnice navpične! Oцени jakost električnega polja!
20. Med ploščama kondenzatorja je homogeno električno polje. Proton, ki zapusti pozitivno naelektreno ploščo, se po času $3 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ zaleti v dugo ploščo, ki je oddaljena 1,4 cm.
- (a) Kolikšna je jakost električnega polja v kondenzatorju?
- (b) Koliko dela je opravilo električno polje, da je premaknilo proton?
- (c) Koliko je sprememba protonove kinetične energije?
21. Ponovili smo Coulombov poskus. Merili smo, kako je sila med dvema majhnima nabitima kovinskima krogla odvisna od razdalje med njima. Pri poskusu smo poskrbeli, da je bil na obeh kroglih enak naboj. Meritve so zbrane v tabeli.

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $r[\text{m}]$ | 0,200 | 0,231 | 0,251 | 0,289 | 0,331 | 0,364 | 0,375 |
| $F[\text{N}]$ | 5,34 | 4,35 | 3,40 | 2,65 | 2,12 | 1,82 | 1,49 |

Nariši graf sile med nabojema v odvisnosti od razdalje med njima! Koliko je naboj na vsaki kovinski kroglici? (+)Določi relativno napako tako izmerjenega naboja!

22. Merili smo naboj, ki se nabere na ploščah kondenzatorja v odvisnosti od napetosti. Meritve so zbrane v tabeli.

| | | | | | | | |
|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $U[\text{kV}]$ | 0 | 0,298 | 0,584 | 0,973 | 1,174 | 1,641 | 1,815 |
| $e[\mu\text{As}]$ | 0 | 42,9 | 95,6 | 122 | 180 | 215 | 255 |

Nariši graf naboja v odvisnosti od napetosti! Koliko je kapaciteta kondenzatorja? (+)Določi relativno napako tako izmerjene kapacitete!

23. Merili smo napetost med ploščama kondenzatorja v odvisnosti od razdalje med njima. Meritve so zbrane v tabeli.

| | | | | | | | |
|----------------|---|------|------|------|------|------|-------|
| $d[\text{mm}]$ | 0 | 7,51 | 12,7 | 19,2 | 29,8 | 34,9 | 40,8 |
| $U[\text{V}]$ | 0 | 1,76 | 3,60 | 4,97 | 6,70 | 9,21 | 13,33 |

Nariši graf napetosti v odvisnosti od razdalje! Koliko je jakost električnega polja kondenzatorja v tem primeru? (+)Določi relativno napako tako izmerjene jakosti električnega polja!

24. Naboj na kovinski kroglici smo merili tako, da smo kroglico z maso 3,0 g pritrdili na 0,74 m dolgo vrvico in obesili v homogeno električno polje. Električnemu polju smo spreminjali jakost in merili kot odklona vrvice od navpičnice. Meritve so zbrane v tabeli.

| | | | | | | | | |
|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|-------|
| $E[\text{kV/m}]$ | 0 | 1,51 | 3,02 | 4,71 | 6,13 | 7,61 | 9,14 | 10,30 |
| $\varphi[^\circ]$ | 0 | 13,8 | 26,8 | 36,3 | 43,5 | 51,1 | 55,8 | 62,5 |

Nariši graf kota odklona v odvisnosti od jakosti električnega polja! Koliko je naboj na kovinski kroglici? (+)Določi relativno napako tako izmerjenega naboja!

Rp: $e \simeq 5 \mu\text{As}$

25. Naboj na kovinski kroglici smo merili tako, da smo kroglico z maso 4,5 g pritrdili na 1,24 m dolgo vrstico in obesili v homogeno električno polje. Električnemu polju smo spreminjali jakost in merili kot odklona vrstice od navpičnice. Meritve so zbrane v tabeli.

| | | | | | | | | |
|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|-------|
| $E[\text{kV/m}]$ | 0 | 1,56 | 2,90 | 4,59 | 5,89 | 7,31 | 8,67 | 10,34 |
| $\varphi[^\circ]$ | 0 | 14,2 | 27,7 | 35,1 | 44,8 | 50,9 | 57,3 | 62,5 |

Nariši graf kota odklona v odvisnosti od jakosti električnega polja! Koliko je naboj na kovinski kroglici? (+)Določi relativno napako tako izmerjenega naboja!

Rp: $e \simeq 7 \mu\text{As}$

8.3 magnetno polje

- Gostota magnetnega polja na razdalji 1 m od zelo dolgega vodnika je $6 \cdot 10^{-7} \text{ T}$. Kolikšna je gostota magnetnega polja na razdalji 10 m in kolikšen tok teče po vodniku?
- Palico dolgo 1 m položimo vzporedno k zelo dolgemu ravnemu vodniku, ki je oddaljen za pol metra. Kolikšen tok moramo spustiti skozi palico, da vodnik privlači palico s silo 10 N? Skozi vodnik teče tok 2 A?
- Dva zelo dolga vzporedna vodnika sta oddaljena drug od drugega 1 m. Kolikšna je gostota magnetnega polja na sredi med vodnikoma, če teče po prvem tok 50 A, po drugem pa 20 A v nasprotni smeri?

Rp: tokova sta v drugih smereh:

B v točki t je:

$$|\vec{B}_t| = |\vec{B}_1 + \vec{B}_2| = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi \frac{d}{2}} + \frac{\mu_0 I_2}{2\pi \frac{d}{2}} = \frac{\mu_0}{2\pi d} (I_1 + I_2) = \dots \text{ T}$$

kjer je: $d = 1 \text{ m}$ in tokova $I_1 = 50 \text{ A}$ in $I_2 = 20 \text{ A}$

- Dva zelo dolga vzporedna vodnika sta oddaljena drug od drugega 1 m. Kolikšna je gostota magnetnega polja na sredi med vodnikoma, če teče po prvem tok 50 A, po drugem pa 20 A v isti smeri?

Rp: tokova sta v distih smereh:

B v točki t je:

$$|\vec{B}_t| = |\vec{B}_1 + \vec{B}_2| = B_1 - B_2 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi \frac{d}{2}} - \frac{\mu_0 I_2}{2\pi \frac{d}{2}} = \frac{\mu_0}{2\pi d} (I_1 - I_2) = \dots \text{ T}$$

kjer je: $d = 1 \text{ m}$ in tokova $I_1 = 50 \text{ A}$ in $I_2 = 20 \text{ A}$

- Dve žici sta postavljeni vzporedno, oddaljeni sta 10 cm. Po prvi teče tok 2 A, po drugi tok 3 A v nasprotni smeri. Izračunaj gostoto magnetnega polja:

(a) v točki **A**, ki je od prve žice oddaljena za 4 cm, od druge pa 6 cm in leži med obema žicama! Nariši skico!

(b) v točki **C**, ki leži 14 cm od prve žice in 4 cm od druge! Nariši skico!

- Aluminijeva palica s presekom $1,2 \text{ cm}^2$ leži vodoravno v homogenem magnetnem polju, katerega silnice so vodoravne; palica je pravokotna na silnice. Kolikšna mora biti gostota magnetnega polja, da palica lebdi? Gostota aluminija je $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$, po palici pa teče tok $I = 2,7 \text{ A}$.

Rp: naj bo: $S = 1,2 \text{ cm}^2$, $\rho_{al} = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ter $I = 2,7 \text{ A}$

vem:

na vodnik deluje sila:

$$\vec{F}_m = I\vec{l} \times \vec{B}$$

ker so količine med seboj pravokotne, lahko zapišemo v obliki:

$$F_m = IlB, \text{ ta sila pa je enako velika newtonovi gravitacijski sili } F_g = mg = \rho_{al} Vg = \rho_{al} S l g$$

če sedaj izenačimo dobimo:

$$B = \frac{\rho_{al} S g}{I} = \dots \text{ T}$$

- Kolikšna je gostota magnetnega polja, ki ga s tokom 0,3 A ustvarimo v tuljavi z 2000 ovoji, dolžino 20 cm in s premerom 4 cm? Kolikšen je magnetni pretok skozi posamezen ovoj tuljave? Kolikšen pa skozi vso tuljavo? Kolikšna je induktivnost tuljave?

Rp: Naj bo: $I = 0,3 \text{ A}$, $N = 2000$, $l = 0,2 \text{ m}$ in $r = 2 \text{ cm}$

torej:

$B = \frac{\mu_0 N I}{l} = \dots \text{ T}$, $\Phi_1 = BS = B\pi r^2 = \dots \text{ Vs}$, $\Phi_t = NBS = NB\pi r^2 = \dots \text{ Vs}$, ter se induktivnost:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 \pi r^2}{l} = \dots \text{ H}$$

8. Kolikšen mora biti tok, da nastane v tuljavi z 2000 ovoji, z dolžino 20 cm in premerom 5 cm magnetno polje z gostoto 50 gaussov? Kolikšen tok pa je potreben, da dobimo skozi ovoj tuljave magnetni pretok $4 \cdot 10^{-4} \text{ Vs}$?
9. V nekem ampermetru je vrtljiva tuljavica kvadratne oblike $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ s 100 ovoji. Tuljavica je v magnetnem polju z gostoto 0,4 T. Kolikšen največji navor deluje na tuljavico, kadar je v njej tok 1 mA? Kolikšen je kot med osjo tuljavice in smerjo magnetnega polja, kadar je navor na tuljavo enak polovici največjega?

Rp: Pa denimo:

$$a = 2 \text{ cm}, N = 100, B = 0,4 \text{ T in } I = 1 \text{ mA};$$

sedaj lahko rečemo:

$$M_{max} = NIBS = NIBa^2 = \dots \text{ Nm};$$

torej:

$$\sin \varphi = \frac{M_{polovica}}{M_{max}} = \frac{M_{max}}{2M_{max}} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \varphi = 30^\circ$$

10. Kolikšen je magnetni pretok skozi tuljavo, ki je dolga 40 cm, ima presek 6 cm^2 in 50 ovojev, če skozi njo teče tok 5 A? Kolikšna je induktivnost te tuljave?
11. Na sredi tuljave, ki ima 100 ovojev, dolžino 50 cm in premer 8 cm, je nameščena tuljava s 1000 ovoji, premerom 2 cm in dolžino 4 cm. Osi obeh tuljav stojita pravokotno druga na drugi. Kolikšen navor deluje na malo tuljavo, kadar je v veliki tuljavi tok 10 A, v mali pa 0,2 A?

Rp: Naj bo:

$$N_1 = 100, l_1 = 0,5 \text{ m in } r_1 = 4 \text{ cm};$$

$$\text{ter } N_2 = 1000, l_2 = 4 \text{ cm in } r_2 = 1 \text{ cm};$$

$$\text{potem za: } I_1 = 10 \text{ A in } I_2 = 0,2 \text{ A}$$

velja navor:

$$M_1 = N_2 B_1 \pi r_2^2 I_2 = N_2 \frac{\mu_0 N_1 I_1}{l_1} \pi r_2^2 I_2 = \dots \text{ Nm}$$

12. Po tuljavi, ki ima 200 ovojev, dolžino 80 cm in premer 10 cm teče tok 2 A. V njej je tuljavica s 1000 ovoji in premerom 6 cm, katere os oklepa z osjo velike tuljave kot 60° .

- (a) Kolikšen navor deluje na malo tuljavico, če po njej spustimo tok 1 A?
- (b) Kolikšno delo je bilo potrebno, da smo pognali tok po veliki tuljavi?
- (c) Kolikšen je magnetni pretok skozi veliko tuljavo?

Rp: Naj velja:

$$N_1 = 200, l_1 = 0,8 \text{ m in } r_1 = 5 \text{ cm};$$

$$\text{ter } N_2 = 1000 \text{ in } r_2 = 3 \text{ cm, ter } \varphi = 60^\circ;$$

$$\text{potem za: } I_1 = 2 \text{ A}$$

$$\text{a) } M = N_2 \frac{\mu_0 N_1 I_1}{l_1} \pi r_2^2 I_2 \sin \varphi = \dots \text{ Nm}$$

$$\text{b) } A = \frac{L_1 I_1^2}{2} = \frac{\mu_0 N_1^2 \pi r_1^2 I_1^2}{2l_1} = \dots \text{ J}$$

$$\text{c) } \Phi_m = L_1 I_1 = \frac{\mu_0 N_1^2 \pi r_1^2 I_1}{l_1} = \dots \text{ Vs}$$

13. Kolikšna je energija magnetnega polja tuljave, ki ima 500 ovojev, dolžino 40 cm in premer 20 cm, če skozi tuljavo teče tok 8 A? Kolikšen je magnetni pretok skozi tuljavo?
14. Kolikšna je energija magnetnega polja tuljave, ki ima 1000 ovojev, dolžino 50 cm in premer 20 cm, če skozi tuljavo teče tok 10 A? Kolikšna je gostota magnetne energije v tuljavi?

15. Po navpični tuljavi s 300 ovoji, premerom 5 cm in dolžino 40 cm teče tok 0,5 A.
- Kolikšna je gostota magnetnega polja v tuljavi?
 - Koliko dela smo opravili, da smo potisnili tok skozi tuljavo?
 - Kolikšen je magnetni pretok skozi tuljavo?
16. Kolikšna je induktivnost tokovne zanke, če tok 2,5 A povzroča magnetni pretok 0,2 mVs?
17. Tuljavo, ki ima premer 10 cm in dolžino 60 cm ter 150 ovojev, položimo tako, da je os v smeri sever-jug. S poskušanjem ugotovimo, da v tuljavi ni vodoravnega polja, ko po njej napeljemo tok 64 mA. (Magnetnica, ki jo damo v tuljavo obstane v indiferentnem ravnovesju.) Kolikšna je vodoravna komponenta poljske gostote zemeljskega magnetnega polja?
18. Tuljava z dolžino 40 cm ima 4000 ovojev in je postavljena v smeri vzhod-zahod (os tuljave je v smeri vzhod-zahod). Vanjo postavimo kompas, ki kaže proti severu, če skozi tuljavo ne teče tok. Ko vključimo tok, se kompas zavrti za 60° proti vzhodu. Kolikšen tok teče skozi tuljavo, če je gostota zemeljskega magnetnega polja $3,4 \cdot 10^{-5} \text{ Vs/m}^2$?
19. Žico z dolžino $d = 1000 \text{ m}$ in premerom $2r = 1 \text{ mm}$ navijemo na gosto (da se en ovoj dotika drugega) na plašč valja, tako da dobimo $l = 2 \text{ m}$ dolgo tuljavo. Specifična upornost žice je $\zeta = 0,017 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$.
- Kolikšen je polmer nastale tuljave?
 - Kolikšna je gostota polja v njeni notranjosti, če jo priključimo na napetost 17V?

Rp: dolžina tuljave je: $l = N2r$, kjer je N število ovojev tuljave

torej je število ovojev tuljave: $N = l/(2r) = (2 \text{ m})/(1 \text{ mm}) = 2000$

dolžina žice d je število ovojev N krat obseg enega ovoja $2\pi R$ torej: $d = N2\pi R$, kjer je R polmer tuljave.

torej je polmer tuljave: $R_t = \frac{d}{N2\pi} = \frac{d2r}{2\pi l} =$

upor žice je: $R = \zeta \frac{l}{S} =$

tok skozi žico: $I = \frac{U}{R} =$

in zato je gostota magnetnega polja: $B = \frac{\mu_o NI}{l} =$

8.4 indukcija

1. Reaktivno letalo leti s hitrostjo 1080 km/h v vodoravni smeri. Kolikšna napetost se inducira med koncema kril z razponom 15 m? Navpična komponenta gostote magnetnega polja Zemlje je $5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$, vodoravna komponenta gostote magnetnega polja Zemlje pa $2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$.

Rp: vem:

$$U_i = \vec{v} \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$$

ter:

$$\vec{B} = (B_x, 0, B_z), \vec{l} = (0, l, 0) \text{ in } \vec{v} = (v, 0, 0)$$

sedaj izračunamo vektorski in skalarni produkt in dobimo:

$$U_i = vlB_z = \dots \text{ V}$$

2. Letalo z razponom kril 17 m leti s hitrostjo 980 km/h. Zaradi indukcije teče po krilih letala tok 3,4 mA. Kolikšna magnetna sila deluje na letalo v Zemljinem magnetnem polju, če leti letalo v smeri:
- jug - sever
 - zahod - vzhod
 - jugoahod - severovzhod
3. Po homogenem magnetnem polju z gostoto 0,7 T se giblje 10 cm dolga kovinska palica s hitrostjo 50 cm/s v takšni legi in takšni smeri (nariši!), da se inducira kolikor mogoče velika napetost. Kolikšna je ta napetost?

4. V homogenem magnetnem polju z gostoto 0,6 T premikamo 1 m dolg vodnik enakomerno s hitrostjo 1 m/s. S kolikšno silo ga moramo vleči v smeri pravokotno na silnice, če skozi vodnik teče tok 5 A? S kolikšnim pospeškom bi se vodnik začel gibati v smeri pravokotno na silnice, če bi vlečna sila prenehala delovati? Masa vodnika je 200 g.

Rp: Naj bo:

$$F = F_m = I_i l B = \dots \text{ N}$$

in pospešek:

$$ma = I_i l B \Rightarrow a = \frac{I_i l B}{m} = \dots \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

5. V homogenem magnetnem polju z gostoto B se premo giblje ravna žica s hitrostjo v . Žica oklepa s silnicami kot α . S smerjo, ki je pravokotna na žici in na silnicah, pa oklepa smer gibanja kot δ . Kolikšna je inducirana napetost? Izpelji to iz tega, kar veš o magnetni sili, ali pa iz indukcijskega zakona!

Rp: iz prve naloge vem:

$$U_i = \vec{v} \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$$

torej poznam tudi tole velikost:

$$U_i = v \cos(\delta) l B \sin(\alpha)$$

6. Kolikšna magnetna sila deluje zaradi zemeljskega magnetnega polja na 10 m dolgo žico, ki je postavljena v smeri vzhod-zahod in po kateri teče tok 10 A? ($B_z = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ Vs/m}^2$)
7. Tuljavico s 50 ovoji in premerom 2 cm vtaknemo med pola magnetna, kjer je magnetno polje z gostoto 1 T. Kolikšen napetostni sunek se inducira v tuljavi?

Rp: torej:

$$U_i \Delta t = \Delta \Phi_m = NBS = NB\pi r^2 = \dots \text{ Vs}$$

8. Po prazni tuljavi, ki ima 1000 ovojev, dolžino 1 m in premer 20 cm, napeljemo tok 10 A. Kolikšen napetostni sunek se inducira pri prekinitvi toka?

Rp:

$$U_i \Delta t = L \Delta I = \frac{\mu_0 N^2 S I}{l} = \dots \text{ Vs}$$

9. Po tuljavi, ki ima 100 ovojev, dolžino 80 cm in premer 10 cm teče tok 2 A. V njej je tuljavica s 1000 ovoji in premerom 6 cm, katere os oklepa z osjo velike tuljave kot 30° .

- (a) Koliko dela smo opravili, ko smo pognali tok po veliki tuljavi?
 (b) Kolikšen je magnetni pretok skozi veliko tuljavo?
 (c) Kolikšen napetostni sunek se inducira v mali tuljavi, ko tok skozi veliko tuljavo izključimo?

Rp: postavimo:

$$N_1 = 100, l_1 = 0,8 \text{ m}, r_1 = 5 \text{ cm}, I_1 = 2 \text{ A}, \text{ ter } N_2 = 1000 \text{ in } r_2 = 3 \text{ cm in } \varphi = 30^\circ$$

$$\text{a) } A = \frac{L_1 I_1^2}{2} = \frac{\mu_0 N_1^2 S I_1^2}{2l_1} = \dots \text{ J}$$

$$\text{b) } \Phi_m = L_1 I_1 = \dots \text{ Vs}$$

$$\text{c) } U_i \Delta t = N_2 B_1 S_2 \cos \varphi = \frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r_2^2 I_1 \cos \varphi}{l_1} = \dots \text{ Vs}$$

10. Tok po 0,7 m dolgi tuljavi s 100 ovoji se poveča vsako sekundo za 3 A. V tej tuljavi je mala tuljava z 200 ovoji in polmerom 2 cm. Kolikšno inducirano napetost kaže voltmeter, priključen na malo tuljavo? Geometrijski osi obeh tuljav se pokrivata!

Rp: vem:

$$l_1 = 0,7 \text{ m}, N_1 = 100, \frac{\Delta I}{\Delta t} = 3 \frac{\text{A}}{\text{s}}, N_2 = 200 \text{ in } r_2 = 2 \text{ cm}$$

$$U_i = \frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi r_2^2}{l_1} \frac{\Delta I}{\Delta t} = \dots \text{ V}$$

11. V tuljavi, ki je dolga 50 cm, ima 1000 ovojev in premer 20 cm zanihamo 10 cm dolgo prečko, prečno na magnetno polje. Kolikšna napetost se inducira med krajiščema prečke, če teče po tuljavi tok 10 A?

Rp: vem:

$$N_t = 1000, r_t = 10 \text{ cm}, l_t = 50 \text{ cm}, l_p = 10 \text{ cm in } I_t = 10 \text{ A}$$

Največja napetost ki se inducira če:

$$U_i = \vec{v}_p \cdot (\vec{l}_p \times \vec{B}_t) = -\omega_p l_p^2 B_t$$

vem pa tudi, da zaradi nihanja velja enačba:

$$M = -J_p \alpha_p$$

$$\Rightarrow F_g r' \sin \alpha - F_m r' = -J_p \alpha_p$$

če velja $\sin \alpha \simeq \alpha$, $a_p = -x\omega_p^2$ in $x \simeq r_t$

$$m_p g r' \alpha x - I_t l_p B_t r'^2 = -J_p a_p$$

izpeljava je predolga, a ne prezapletena, rešitev:

$$\omega^2 = \frac{g}{6l_p} - \frac{U_i B_t}{6l_p^2 \rho_p \zeta}$$

$$\Rightarrow U_i^2 = \omega_p^2 l_p^4 B_t^2$$

dobimo kvadratno enačbo in njeni rešitvi:

$$U_{i1} = -\frac{B_t^2 l_p^2}{12 \rho_p \zeta} + \frac{B_t l_p \sqrt{(B_t^3 l_p^2 + 24 g l_p \rho_p^2 \zeta^2)}}{12 \rho_p \zeta}$$

in

$$U_{i1} = -\frac{B_t^2 l_p^2}{12 \rho_p \zeta} - \frac{B_t l_p \sqrt{(B_t^3 l_p^2 + 24 g l_p \rho_p^2 \zeta^2)}}{12 \rho_p \zeta}$$

12. Kvadratni okvir iz aluminija obesimo tako, da je zgornja vodoravna stranica v homogenem magnetnem polju z gostoto 1 Vs/m^2 pravokotno na silnice, spodnja stranica pa je izven polja. Ko okvir spustimo, kmalu doseže konstantno hitrost. Kolikšna je ta hitrost, če je $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$, specifični upor pa $\zeta = 0,026 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$?

Rp: torej:

$$F_g = F_m$$

torej:

$$I_i a B = 4 \rho S a g$$

$$\frac{U_i}{R} B = 4 S g \rho$$

potem:

$$B a v = \frac{16 \rho \zeta a g}{B}$$

$$\Rightarrow v = \frac{16 \rho \zeta g}{B^2}$$

13. Tuljava s 1000 ovoji in presekom 1 dm^2 je vrtljiva okrog osi, ki gre skozi središče tuljave in je pravokotna na njeno geometrijsko os. Vztrajnostni moment tuljave okrog te osi je $0,5 \text{ kgm}^2$. Na os je pritrjena polžasta vzmet s koeficientom 50 Nm . V ravnovesni legi je geometrijska os tuljave vzporedna z magnetnim poljem z gostoto $0,5 \text{ T}$. Tuljavo zasučemo za kot 5° iz ravnovesne lege in spustimo. Zapiši časovni potek inducirane napetosti med priključkoma tuljave! Kolikšna je amplituda napetosti?