

Aktivni pouk: električna vezja II

doc. dr. Andreja Šarlah in doc. dr. Aleš Mohorič
UL Fakulteta za matematiko in fiziko

Električni tok v kurikulu



definicijo za kapaciteto kondenzatorja in jo uporabijo v računskih primerih:
la električni naboj shranjujemo v kondenzatorju. Čim več naboja spravimo vanj pri
ti (opravljenem delu), tem večja je njegova kapaciteta: $C = e/U$.

11.7 (I) Izračunajo nadomestno kapaciteto pri vzporedni, pri zaporedni in pri kombinirani veza-
vi kondenzatorjev:
Dijaki vedo, da je pri vzporedni vezavi dveh kondenzatorjev na vir napetosti na obeh konden-
zatorjih enaka napetost in da je pri zaporedni vezavi kondenzatorjev na vir napetosti na obeh
enak naboj.

11.8 Izračunajo jakost električnega polja v okolici nekaterih sistemov nabojev:
Dijaki znajo izračunati jakost električnega polja v okolici enega ali dveh točkastih nabojev, v
bližini velike naelektrene ravne plošče in v notranjosti kondenzatorja: $E_r = e / (4\pi\epsilon_0 r^2)$, $E_p = e /$
($2\epsilon_0 S$), $E_k = e / (\epsilon_0 S)$.

11.9 (I) Uporabijo izrek o električnem pretoku:
Dijaki znajo uporabiti izrek o električnem pretoku $\Phi_e = e$ za izračun jakosti električnega polja v
okolici točkastega naboja, v okolici ravne plošče in v primerih sistemov nabojev s krogelno ali
ravniško simetrijo.

11.10 Zapišejo napetost med točkama v homogenem električnem polju z električno poljsko ja-
kostjo: $U_{12} = E \cdot s_{12}$.

11.11 Rišejo ekvipotencialne ploskve za homogeno električno polje in za polje točkastega nabo-
ja ter poznajo pomen teh ploskev.

11.12 (I) Z mikroskopskega stališča pojasnijo pojav polarizacije v dielektriku.

11.13 Uporabijo enačbo za energijo kondenzatorja $W_e = \frac{1}{2} CU^2$.

11.14 (I) Definirajo gostoto energije električnega polja in za homogeno polje zapišejo zvezo
med gostoto energije in jakostjo električnega polja $w_e = W_e/V$, $w_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$.

12. Električni tok (4 SZ in 4 EV)

Dijaki/dijakinje:

12.1 Zapišejo definicijo jakosti električnega toka ter navedejo osnovni naboj:
Zapisati in pojasniti znajo definicijo jakosti električnega toka $I = e/t$.
[Medpredmetna povezava s kemijo in biologijo – kemični (elektroliza) in fiziološki (krčenje mi-
šic) učinek električnega toka.]

20
24

12.2 Definirajo napetost vira in padec napetosti na porabniku:
Dijaki definirajo napetost vira z električnim delom vira na enoto potisnjene naboja $U_v = A_e/e$.
Padec napetosti na porabniku definirajo z električnim delom, ki ga prejme porabnik na enoto
pretočenega naboja $U = A_e/e$.

12.3 Ponovijo ohmov zakon in definicijo za upor:
Dijaki vedo, da je tok skozi prevodnik sorazmeren s padcem napetosti U na porabniku in obratno
sorazmeren z uporom porabnika ($I = U/R$). Vedo, da ohmov zakon ne velja za vse prevodnike.

12.4 (I) Poznajo notranji upor vira.

12.5 Ponovijo vzporedno in zaporedno vezavo upornikov ter pojasnijo vezavo ampermetra in
voltmetra v električnem krogu. Znajo izmeriti tok in napetost v preprostih električnih kro-
gih:
Dijaki vedo, da je pri vzporedni vezavi na porabnikih isti padec napetosti in da pri zaporedni ve-
zavi teče skozi porabnike isti tok. Vedo, da mora imeti voltmeter velik upor, ampermeter pa maj-
hen upor glede na ostale porabnike.

12.6 (I) Razložijo, kako lahko razširimo merilni območji voltmetra in ampermetra.

12.7 Pojasnijo vezavo porabnikov v hišni napeljavi:
Dijaki znajo skicirati električno shemo za hišno napeljavo dveh ali več porabnikov, stikal in varo-
valke. Poznajo pomen varovalke in znajo izračunati največjo moč, ki jo lahko pri dani varovalki
skupaj porabljajo porabniki.

12.8 Izračunajo nadomestni upor zaporedno ali vzporedno vezanih električnih upornikov in ra-
čune preverijo z meritvami: $R = R_1 + R_2 + \dots$; $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$

12.9 Ponovijo enačbo za električno moč pri enosmernem toku. Enačbo posplošijo na enačbo
za moč pri izmeničnem toku in jo uporabijo v primerih enega napetostnega izvira in ene-
ga porabnika:
Dijaki vedo, da je električna moč, ki jo porablja porabnik, enaka produktu padca napetosti na
porabniku in toka skozi porabnik ($P = UI$). Pri izmeničnem toku računajo z efektivnimi vrednost-
mi toka in napetosti. Narisati znajo graf za sinusno izmenično napetost hišne napeljave in na
njem označiti nihajni čas in amplitudo nihanja.

12.10 Izračunajo upor vodnika:

$$R = \zeta l/S.$$

12.11 Uporabijo zakon o ohranitvi naboja in energijski zakon pri obravnavi sestavljenih elek-
tričnih vezij (prvi in drugi kirchoffov zakon).

12.12 (I) Spoznajo način delovanja in uporabo gorivnih celic.



4.10 Električni naboj in električno polje

Vsebine	Preverjeni pojmi in koncepti
10.1 Električni naboj	10.1.1 Naelektřev teles 10.1.2 Prevodniki in izolatorji 10.1.3 Delovanje elektroskopa 10.1.4 Smer sil med naelektřenimi točkastimi telesi 10.1.5 Povezava med električnim tokom in nabojem 10.1.6 Osnovni naboj in ohranitev naboja
10.2 Električno polje	10.2.1 Sila na naboj v električnem polju 10.2.2 Jakost električnega polja 10.2.3 Grafična ponazoritev električnega polja točkastega naboja in ploščnega kondenzatorja 10.2.4* Napetost med točkama homogenega električnega polja 10.2.5* Kvalitativna in grafična obravnava ekvipotencialnih ploskev za homogeno električno polje in polje točkastega naboja
10.3 Coulombov zakon	10.3.1 Velikost sile med točkastimi naboji (Coulombov zakon) 10.3.2 Električno polje točkastega naboja – kvantitativno 10.3.3* Električno polje dveh ali več nabojev 10.3.4* Električno polje enakomerno nabite razsežne plošče
10.4 Kondenzator	10.4.1 Kapaciteta kondenzatorja 10.4.2* Povezave med nabojem, jakostjo električnega polja in napetostjo na ploščnem kondenzatorju
10.5 Influenca	10.5.1 Mikroskopska razlaga influence v kovinah
10.6 Energija električnega polja	10.6.1* Energija kondenzatorja

4.11 Električni tok

Vsebine	Preverjeni pojmi in koncepti
11.1 Električna vezja	11.1.1 Naboj in jakost električnega toka 11.1.2 Napetost vira in napetost na porabniku 11.1.3 Kirchhoffova izreka za električne tokove in električne napetosti v preprostih vezjih 11.1.4* Kirchhoffova izreka za električne tokove in električne napetosti v sestavljenih, zahtevnejših vezjih
11.2 Ohmov zakon	11.2.1 Povezava med napetostjo in tokom pri idealnih upornikih 11.2.2 Upor upornika 11.2.3 Specifični upor snovi 11.2.4 Nadomestni upor pri zaporedni in vzporedni vezavi 11.2.5 Merjenje električnega toka 11.2.6 Merjenje električne napetosti

11.3 Električno delo in moč	11.3.1 Električno delo in moč pri enosmernem toku 11.3.2 Elektronvolt kot enota za energijo
11.4 Izmenična napetost	11.4.1* Sinusno nihajoča napetost 11.4.2* Električno delo in moč pri izmeničnem toku za posamezen porabnik 11.4.3* Efektivna napetost in tok

Kaj že vemo?

- Za prenos naboja je odgovorna razlika potencialov.
- Koncept zaključenega električnega kroga.
- Baterija je vir z $U=\text{konst.}$ in sončna celica z $I=\text{konst.}$
- Grafična upodobitev električnega potenciala v vezju.
- Zveza med I in U .
- Veljavnost Ohmovega zakona.
- Kaj v karakteristiki $U(I)$ oz. $I(U)$ predstavlja upor?

Razlika potencialov in prenos naboja

Posnetek CP OET 19.1 <https://mediaplayer.pearsoncmg.com/assets/secs-experiment-video-35>

Opazovalni poskus – električni tokokrog

(prirejeno po ALG 19.1.3)

Oprema: baterija, dve žici in žarnica



Opazovalni poskus – baterija in sončna celica

(CP P19.87)

Prijatelj vežeta uporabno lestvico na baterijo in merita tok skozi in napetost na vsakem uporniku.

Battery
 I (mA)
Solar cell
 U (V)

Opazovalni poskus – spreminjanje potenciala v zaključenem tokokrogu z več elementi

Oprema: vezje z dvema žarnicama, baterija, žice, voltmeter



Opazovalni poskus – kakšna je zveza med tokom (skozi ...) in napetostjo (na ...) za različne elemente

Oprema: nastavljen vir napetosti, upornik, žarnica, dva multimetra, priključne žice



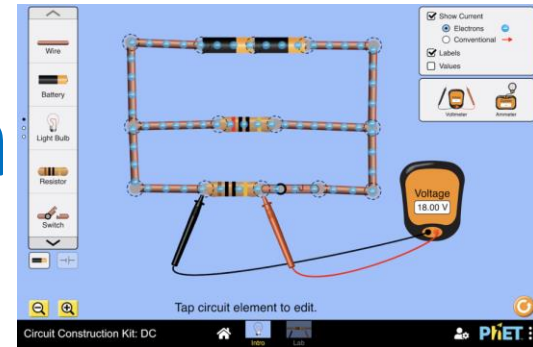
Cilj aktivnosti je, da raziščete, kakšna je zveza med tokom I skozi upornik in napetostjo U na uporniku.

Cilj aktivnosti je, da raziščete, kakšna je zveza med tokom I skozi žarnico in napetostjo U na žarnici.

- PREDEN** se lotite meritev, narišite skico vezja, s katerim boste izvajali meritve. Označite elemente v vezju z dogovorjenimi oznakami.
- Katere so neodvisne in katere odvisne spremenljivke v vašem poskusu?
- Izvedite meritve z upornikom in vnesite izmerke v Excel tabelo. Nato narišite graf $I(U)$.

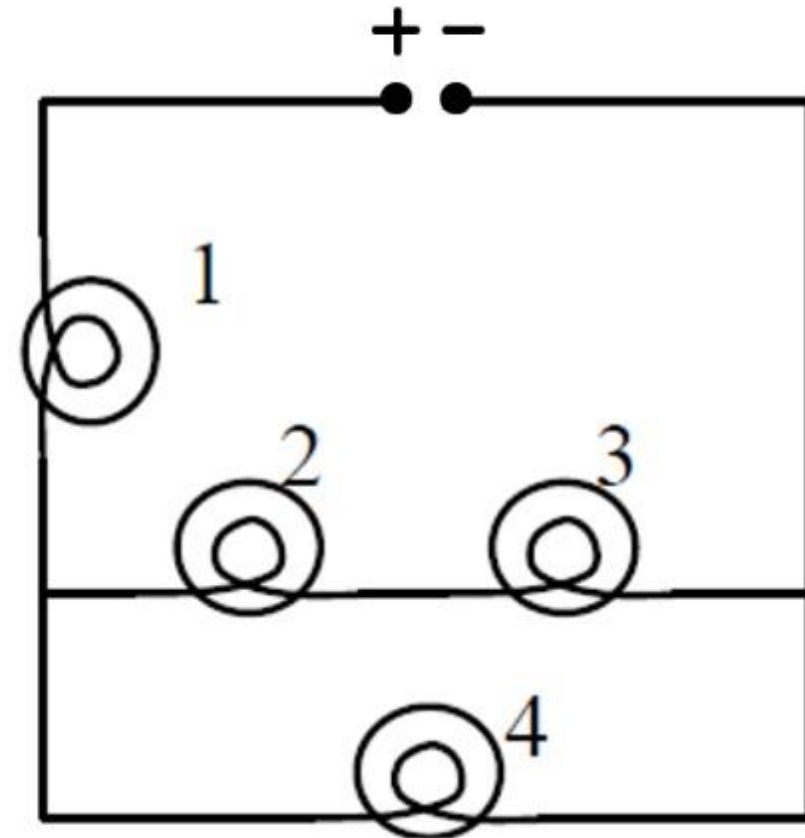
- PREDEN** se lotite meritev, narišite skico vezja, s katerim boste izvajali meritve. Označite elemente v vezju z dogovorjenimi oznakami.
- Katere so neodvisne in katere odvisne spremenljivke v vašem poskusu?
- Izvedite meritve z upornikom in vnesite izmerke v Excel tabelo. Nato narišite graf $I(U)$.

Opazovalna aktivnost – analiza tokov in napetosti v vezju



Cilj aktivnosti je

- I. odkriti povezavo med tokovi v vezju.
 - II. odkriti povezavo med napetostmi na elementih v vezju.
-
- a) Ali opazite kakšno povezavo med tokovi v različnih delih vezja?
 - b) Za poljubno zaključeno pot v vezju izmerite napetost na elementih vezja vzdolž te poti. Ali opazite kakšno povezavo med napetostjo na žarnicah in napetostjo na bateriji?



Kirchhoffova izreka

1. Kirchhoffov izrek (za razvejitve)

$$\sum I_n = \sum I_{iz}$$

2. Kirchhoffov izrek (za zanko)

$$\sum U = 0$$

zaporedna vezava

$$R_{\text{mad}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

vzporedna vezava

$$\frac{1}{R_{\text{mad}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Aplikativna aktivnost – zaporedna in vzporedna vezava upornikov

A: Izpeljite matematični izraz za upor (enega) upornika, s katerim lahko nadomestimo vezje, v katerem je več različnih upornikov, ki so priključeni *zaporedno*.

- a) Narišite skico vezja, v katerem so trije različni uporniki priključeni zaporedno na baterijo.
- b) Narišite drugo vezje, v katerem je en upornik priključen na enako baterijo kot v a). Pravimo, da je upornik *nadomestni upornik* za vezje zaporedno vezanih upornikov, če je tok v obeh vezjih enak.
- c) Za prvo in drugo vezje zapišite Kirchhoffov izrek o napetostih. Iz dobljenih enačb izrazite upor nadomestnega upornika z upori R_1 , R_2 in R_3 .

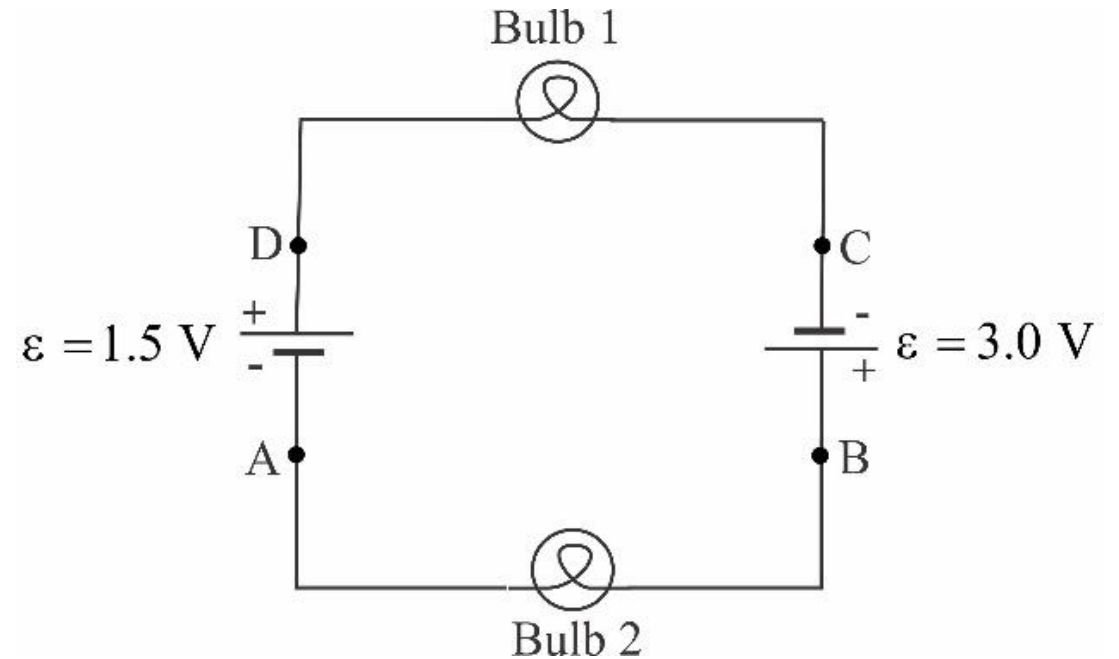
B: Izpeljite matematični izraz za upor (enega) upornika, s katerim lahko nadomestimo vezje, v katerem je več različnih upornikov, ki so priključeni *vzporedno*.

- a) Narišite skico vezja, v katerem so trije različni uporniki priključeni vzporedno z baterijo.
- b) Narišite drugo vezje, v katerem je en upornik priključen na enako baterijo kot v a). Pravimo, da je upornik *nadomestni upornik* za vezje vzporedno vezanih upornikov, če je tok skozi baterijo v obeh vezjih enak.
- c) Zapišite Kirchhoffov izrek o napetostih za tokokroge, ki jih sestavljajo baterija in upornik v posamezni veji prvega vezja in Kirchhoffov izrek o napetostih za drugo vezje. Zapišite še Kirchhoffov zakon o tokovih za razvejišče v prvem vezju. Iz dobljenih enačb izrazite upor nadomestnega upornika z upori R_1 , R_2 in R_3 .

Vezje I (formativno preverjanje)

Vezje na sliki je sestavljeno iz dveh idealnih baterij, dveh identičnih žarnic in žic z zanemarljivim uporom.

- Primerjajte svetlost žarnic v začetnem vezju z uporabo znakov $>$, $<$ in $=$.
- Primerjajte svetlost žarnic, potem ko smo z žico povezali dve točki v vezju, navedeni v prvem stolpcu tabele. Primerjajte svetlost posamezne žarnice glede na žarnico v začetnem vezju in glede na svetlost drugih žarnic v spremenjenem vezju.

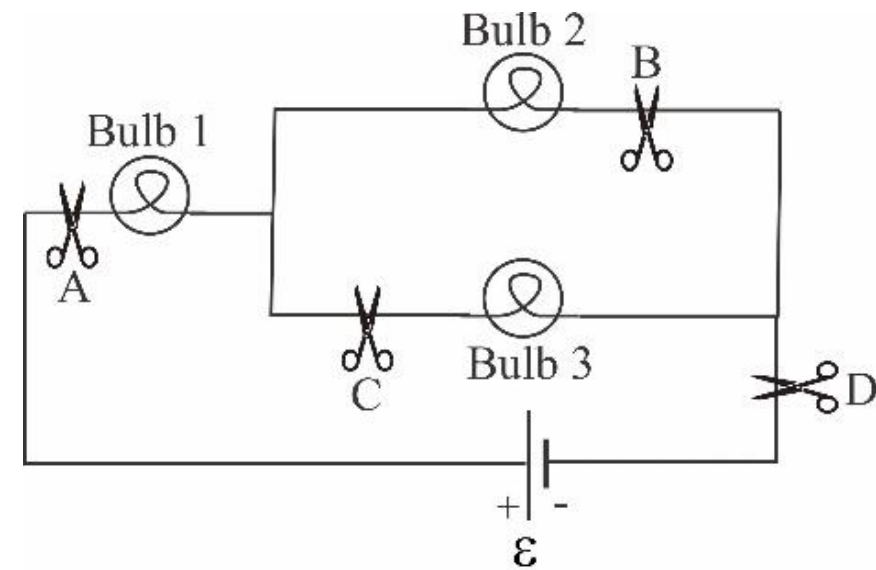


Povezava	Žarnica 1	Žarnica 2
A-B		
A-C		
D-C		
D-B		

Vezje II (formativno preverjanje)

Vezje na sliki je sestavljeno iz idealne baterije, treh enakih žarnic in žic z zanemarljivim uporom.

- Primerjajte svetlost žarnic v začetnem vezju z uporabo znakov $>$, $<$ in $=$.
- Primerjajte svetlost žarnic po tem, ko smo prerezali žice na točkah, označenih na sliki, in navedenih v prvem stolpcu tabele. Primerjajte svetlost posamezne žarnice v primerjavi z žarnico v začetnem vezju in v primerjavi s svetlostjo drugih žarnic v spremenjenem vezju.
- Ali je katera od žarnic najsvetlejša v katerem od primerov? Navedite vse primere.



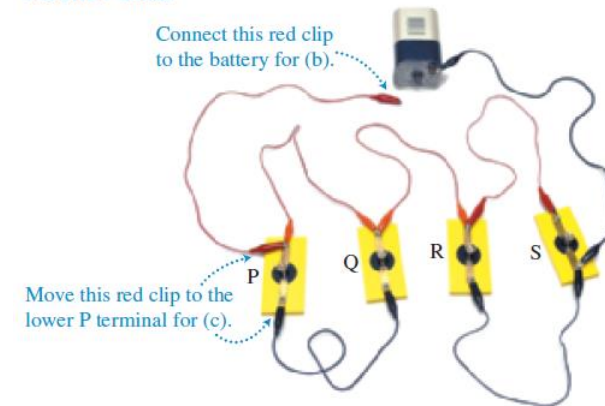
Prerežemo	Žarnica 1	Žarnica 2	Žarnica 3
A			
B			
C			
D			

Realno vezje

Slika kaže vezje, ki ga sestavljajo štiri enaka svetila in baterija.

- Narišite shemo vezja.
- Napovejte, katero svetilo bo zasvetilo (oz. katera svetila, če jih bo več), če boste prosti rdeči krokodilček priključili na prosti priključek baterije.
- Zdaj premaknete najbolj levi rdeči krokodilček z zgornjega na spodnji priključek držala svetila P (glejte sliko). Narišite shemo novega vezja in napovejte, katero svetilo (oz. katera svetila) bodo svetila zdaj.

FIGURE P19.52



Joulova toplota

- Pretvorba električne energije v notranjo (ali katero drugo)

$$P = \left| \frac{\Delta W_{\text{not}}}{\Delta t} \right| = \left| - \frac{\Delta W_{\text{el.p.}}}{\Delta t} \right|, \text{ kjer } \Delta W_{\text{el.p.}} = q \Delta V$$

$$P = \frac{q}{\Delta t} |\Delta V|$$

$$\boxed{P = IU} \quad \begin{array}{l} [P] = W \\ [I][U] = AV \end{array}$$

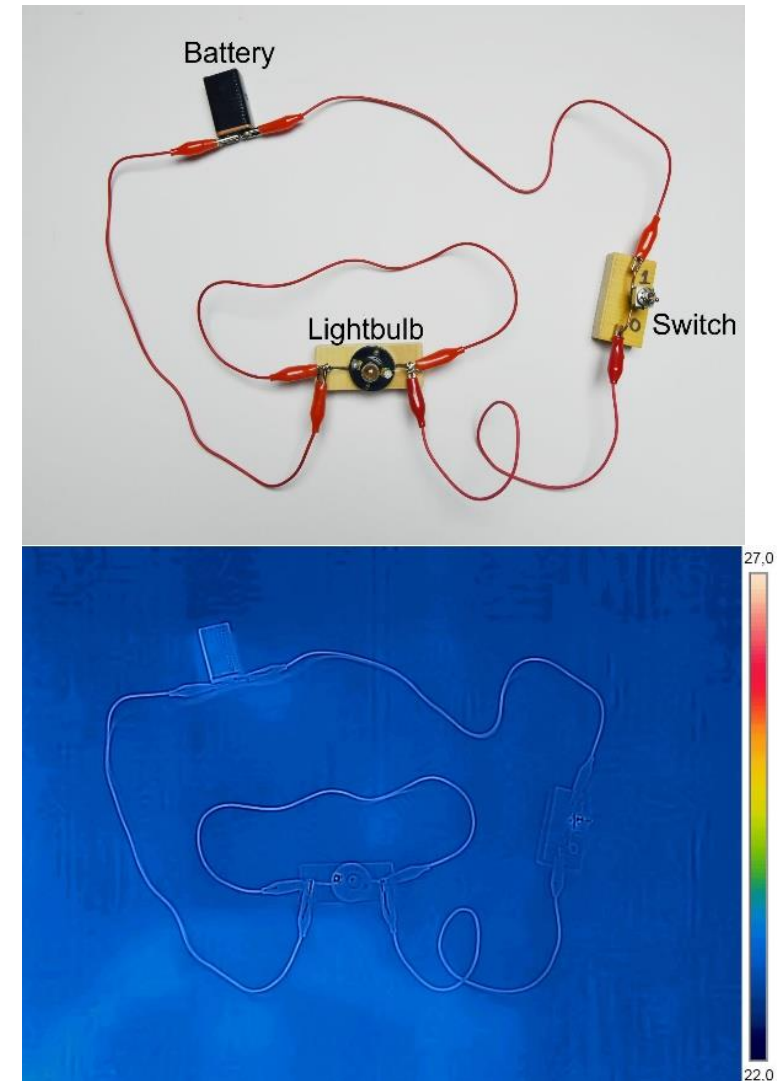
iz Ohmovega zakona: $I = \frac{U}{R}$

$$\Rightarrow P = \frac{U^2}{R} = RI^2$$

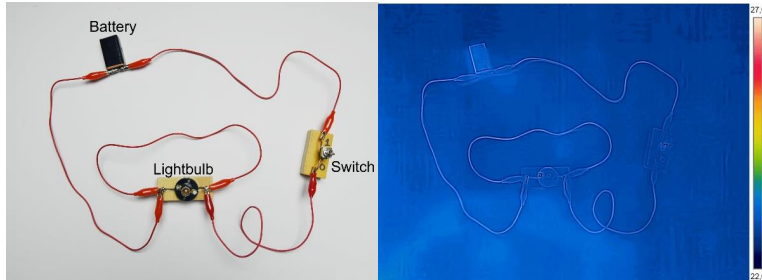
Obratna naloga vezje z baterijo, žarnico in stikalom in IR

Električno vezje sestavljajo svetilo, baterija in stikalo. Stikalo ni sklenjeno. Slika kaže infrardečo (IR) fotografijo postavitve. Temperature na IR fotografiji so predstavljene z barvami v intervalu od 22 °C (temno modra) do 27 °C (bela).

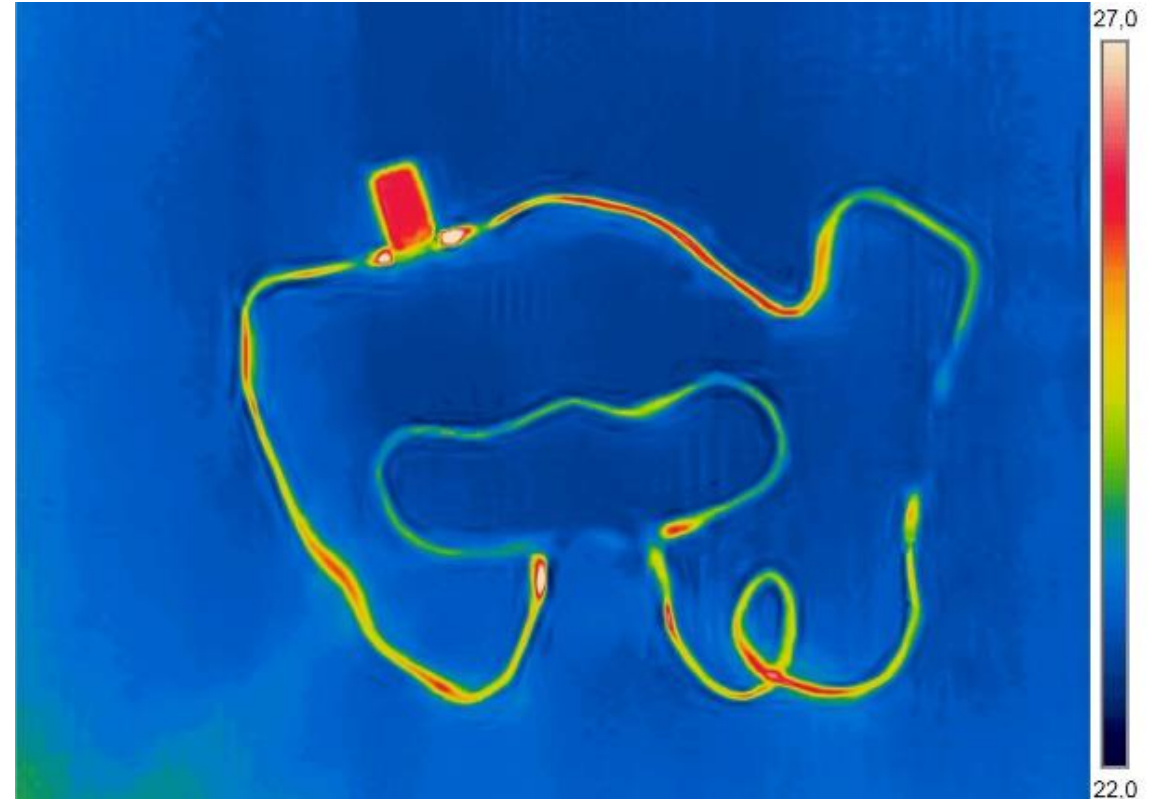
- Opišite, kaj vidite na IR fotografiji. Kaj lahko poveste o temperaturi elementov vezja na podlagi IR fotografije?
- Predstavljajte si, da sklenete stikalo in počakate nekaj minut, nato pa ponovno posnamete IR fotografijo vezja. Napovejte, kako se bo IR fotografija spremenila. Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.



Obratna naloga vezje z baterijo, žarnico in stikalom in IR



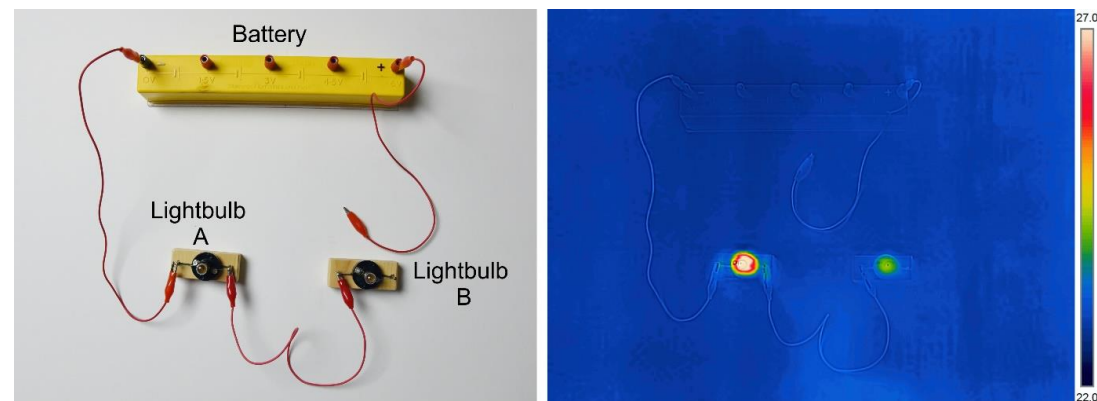
- c) Se IR fotografija v vseh podrobnostih sklada z vašo napovedjo? Če ne, opišite tiste dele IR fotografije, ki se razlikujejo od vaše napovedi, in jih pojasnite.
- d) Narišite shemo vezja, ki ustreza izidu poskusa.



Obratna naloga vezje z dvema žarnicama in IR

Prijatelj je sestavil vezje, ki vsebuje dve svetili in baterijo. Ko ste zapustili laboratorij, se je prijatelj igral z vezjem. Ob povratku v laboratorij je vezje odklopljeno z baterije. Posnamete IR fotografijo. Temperatura je na IR posnetku predstavljena z barvami v intervalu od 22 °C (temno modra) do 27 °C (bela).

- Opišite, kar vidite na IR fotografiji. Kaj lahko na podlagi IR posnetka poveste o temperaturah svetil?
- Predlagajte vsaj dve različni razlagi, ki pojasnita razliko v izgledu obeh svetil na IR fotografiji. Predpostavite, da so bili ob vašem odhodu iz laboratorija vsi deli vezja na sobni temperaturi. Navedite morebitne dodatne predpostavke, ki ste jih sprejeli.



Obratna naloga vezje z dvema žarnicama in IR

Da bi ugotovili, kaj je vaš prijatelj naredil z vezjem, poiščete dodatne podatke o svetilih. V spodnji tabeli so podatki za tri različne primere.

- c) Kaj pomenijo te številke?
Kako vam lahko z dodatnimi informacijami o svetilih pomagajo pri razlagi razlik v izgledu svetil na IR fotografiji?
- d) Z uporabo teh novih informacij za vsakega od primerov v tabeli presodite o svojih razlagah iz naloge b). Navedite morebitne predpostavke, ki ste jih sprejeli.

Podatki o svetilih:	Katero razlogo, ki ste jo predlagali v koraku b (če sploh katero), lahko ovržete na podlagi teh podatkov? Razložite.
Svetilo A: 6 V/0,2 A Svetilo B: 3,5 V/0,2 A	
Svetilo A: 3,5 V/0,2 A Svetilo B: 3,5 V/0,2 A	
Svetilo A: 3,5 V/0,2 A Svetilo B: 6 V/0,2 A	

Viri

- E. Etkina, G. Planinšič, A. Van Heuvelen, *College Physics - Explore and Apply* 2nd Edn, Pearson, 2019, in in 3rd Edn, 2026 (v tisku).
- E. Etkina, D. Brookes, G. Planinšič, A. Van Heuvelen, *College Physics – Active Learning Guide*, Pearson, 2019 in 2026 (v tisku).
- E. Etkina, D. Brookes, G. Planinšič, A. Van Heuvelen, *College Physics – Online Active Learning Guide*, Pearson, 2019.
- S. Faletič, T. Maroševič, G. Planinšič, A. Šarlah, *Gradiva za izvajanje pouka fizike na daljavo – Električna in magnetizem*, elektronski vir, 2021.