

Wiedemann-Franzov zakon

V kovinah prevajajo toploto večinoma elektroni. Toplotna in električna prevodnost sta zato med seboj povezani, kar povzema Wiedemann-Franzov zakon.

Namen tega poskusa je, da izmeriš toplotno in električno prevodnost različnih kovin z največjo mogočo natančnostjo. Pri delu A meriš električno prevodnost bakra, medenine in aluminija. Pri delu B meriš toplotno prevodnost bakra. Pri delu C meriš specifično toploto bakra. Pri delu D meriš toplotno prevodnost medenine in aluminija. Pri zadnjem, delu E, pokažeš, da velja splošna zveza med fizikalnimi količinami, ki smo jih obravnavali, v uporabljenih kovinah.

Pri tem poskusu ti ni treba računati napak.

Upoštevaj, da moraš pri delih B in D med meritvijo čakati **15 minut**, in temu primerno načrtuj svoje akcije.

Varnostna opozorila

Ne priključi kar nekih žic ali inštrumentov, ki niso temu namenjeni, na vtičnico 220V/25A. Na vtičnico lahko povežeš le vire napetosti, ki so med pripomočki za ta poskus, in ne da bi jih pred tem kakorkoli spreminjal.

Seznam pripomočkov



1. **Bakrena** cev z dolžino 200.0 mm, premerom rova 6.0 mm in zunanjim premerom **20.0 mm**
2. **Medeninasta** cev z dolžino 200.0 mm, premerom rova 6.0 mm in zunanjim premerom **19.0 mm**
3. **Aluminijasta** cev z dolžino 200.0 mm, premerom rova 6.0 mm in zunanjim premerom **20.0 mm**
4. Majhen trajni magnet z maso 1.2 g
5. Posoda za vodo – poseben lonec, sicer namenjen pripravi lokalne izraelske specialitete, peciva "Jachnun". Pokrov lonca ima na notranji strani vgrajen toplotni izmenjevalnik (dodatne kovinske plo-

Experiment



Q2-2

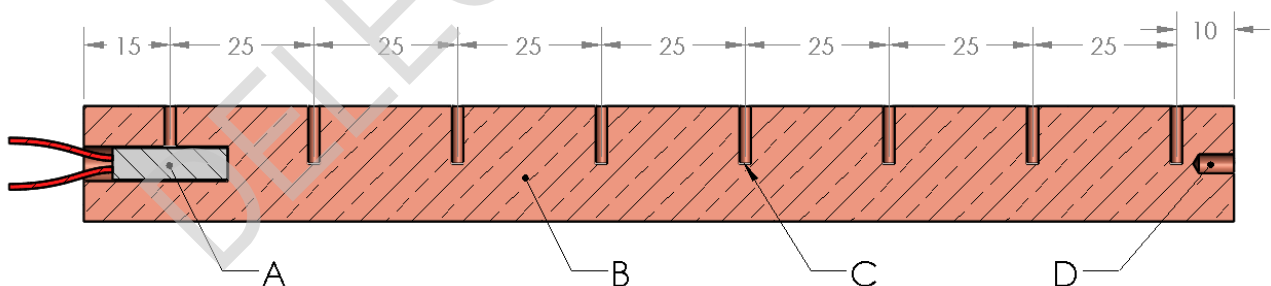
slovenian only (Slovenia)

ščice), na zunanji pa vijak. Zraven imaš v dveh plastenkah še 4 l navadne vode (**ne pij je!**), s katero napolniš lonec.

6. Palica #1 - bakrena palica s premerom 20.0 mm in senzorji za temperaturo, povezanimi z vtičnico za priklop SVT (glej naprej, 11.) in vgrajenim grelcem (nanj sta pritrjena rdeča vodnika za vezavo grelca v vezje) (slika 2.a). Palica je ovita in toplotno izolirana s črno peno.
7. Palica #2 - palica iz treh kovin, s premerom 20.0 mm in senzorji za temperaturo, povezanimi z vtičnico za priklop SVT in vgrajenim grelcem (nanj sta pritrjena rdeča vodnika za vezavo grelca v vezje) (slika 2.b). Palica je ovita in toplotno izolirana s črno peno.
8. Toplotno izolirana kapa za palici #1 in #2.
9. Vir enosmerne napetosti 12 V za digitalni prikazovalnik.
10. Digitalni prikazovalnik. Prikazuje čas in temperaturo 8 termometrov, glej navodila spodaj. Prikazovalnik uporabiš tudi kot štoparico.
11. SVT, snop vodnikov termometrov, s katerim povežeš termometre v palici z digitalnim prikazovalnikom.
12. Voltmeter - stikalo za izbiro območja naj bo nastavljeno na 20 V DC (slika 3).
13. Ampermeter - stikalo za izbiro območja naj bo nastavljeno na 10 A DC (slika 3).
14. Vodniki.
15. Vir enosmerne napetosti 9 V za grelec v palicah z bananskima priključkoma.

OPOZORILO: 1. Na napetost 220 V lahko priključiš le adapterje, ki so med pripomočki. V vtičnico ne vtikaj žic, niti izoliranih, kaj šele neizoliranih, ali, bog ne daj, prstov, ker je to najstrožje prepovedano in lahko povzroči resne poškodbe.

2. V vodo ne potaplaj ali namakaj palic #1 in #2.



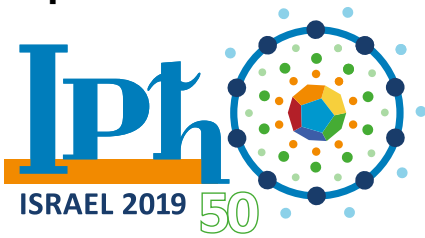
Slika 2.a - Zgradba palice #1.

Dolžine so podane v mm, z natančnostjo 0.1 mm.

(A) Grelec, povezan z rdečima vodnikoma. (B) Bakrena palica. (C) Eden od 8 senzorjev za temperaturo.

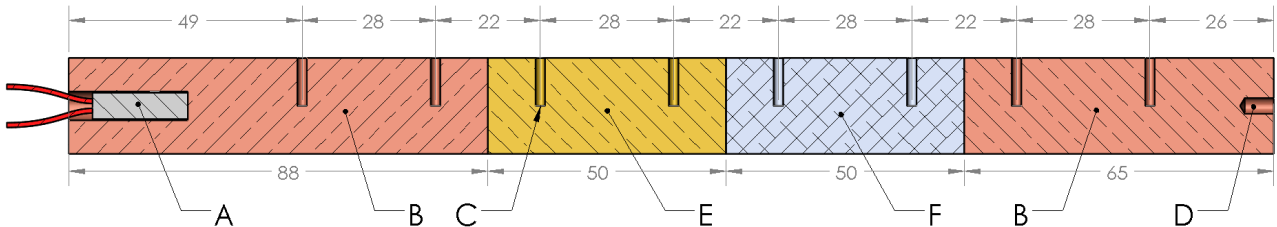
(D) Luknja z navojem za vijak, s katerim palico pritrdiš na pokrov posode z vodo.

Experiment



Q2-3

slovenian only (Slovenia)

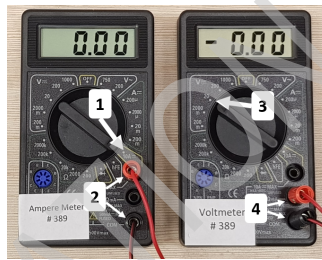


Slika 2.b - Zgradba palice #2.

Dolžine so podane v mm, z natančnostjo 0.1 mm.

(A) Grelec, povezan z rdečima vodnikoma. (B) Bakrena palica. (C) Eden od 8 senzorjev za temperaturo.

(D) Luknja z navojem za vijak, s katerim palico pritrdiš na pokrov posode z vodo. (E) Palica iz medenine. (F) Palica iz aluminija.



Slika 3 - Amperimeter in voltmeter

(1) - Lega stikala za izbiro območja 10 A. (2) Vhodna priključka, ko inštrument uporabljaš kot amperimeter.

(3) - Lega stikala za izbiro območja 20 V. (4) Vhodna priključka, ko inštrument uporabljaš kot voltmeter.

Uporaba digitalnega prikazovalnika

Prikazovalnik poveži z njegovim virom napetosti 12 V.

Prikazovalnik lahko deluje v dveh načinih, kot štoparica ali kot prikazovalnik temperature. Ko na prikazovalnik s SVT priključiš termometre iz palice, se prikazovalnik samodejno nastavi v način prikazovalnika temperature. Ko SVT odklopiš, prikazovalnik samodejno preide v način za merjenje časa in na zaslonu se prikaže napis "Timer mode".

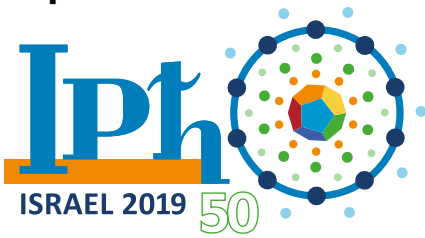
Prikazovanje temperature:

- Resetiranje časa: pritisni na rdeči gumb in ga drži 3 sekunde.
- Odčitanje trenutne vrednosti temperature: na kratko pritisni na rdeči gumb, prikazana vrednost ostane na zaslonu (merjenje časa poteka naprej, čas ni resetiran).
- Nazaj na zvezno prikazovanje temperature (za nadaljevanje meritve): ponovno na kratko pritisni rdeči gumb.

Štoparica:

- Začetek merjenja časa: pritisni na rdeči gumb.

Experiment



Q2-4

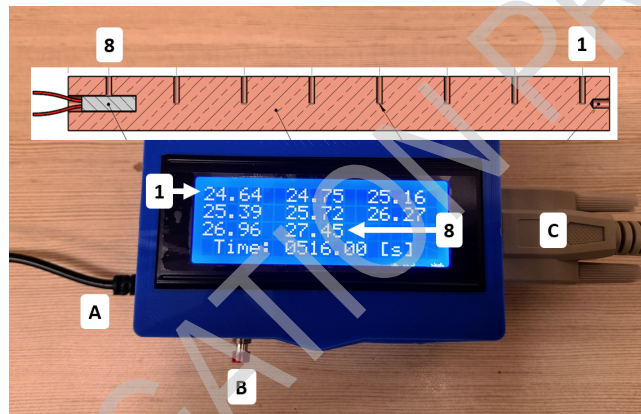
slovenian only (Slovenia)

- Konec merjenja časa: pritisni spet na rdeči gumb.
- Resetiranje časa: pritisni še enkrat na rdeči gumb.

Prikazovalnik moraš, preden ga uporabiš, umeriti za vsako palico posebej. Termometri, ki so vgrajeni v palici, niso popolnoma enaki. Zato jih umerimo, ko je palica v toplotnem ravnovesju, da takrat kažejo vsi isto. Prikazovalnik umeriš tako, da v pin vtičnico na palici priključiš SVT. Potem pritisneš in držiš rdeči gumb, medtem ko povežeš drugo krajišče SVT s prikazovalnikom. Prikazovalnik ostane umerjen tudi če ga odklopiš od vira napetosti.

OPOZORILO: Prikazovalnik umeri **preden** namestiš palico na pokrov posode z vodo in **preden** povežeš grelec v palici z virom napetosti. To zagotovi, da ima palica med umerjanjem povsod isto temperaturo.

Če naletiš na težave pri uporabi prikazovalnika, lahko pomaga, če ga odklopiš od njegovega vira napetosti in ga priključiš nazaj. Prikazovalnik si zapomni zadnje umerjanje.



Slika 4 - Digitalni prikazovalnik
(A) Napajalni vodnik do vira enosmerne napetosti 12 V. (B) Večfunkcijski rdeči gumb.
(C) SVT priključen na prikazovalnik. (1-8) Temperaturni senzori v palici in zaporedje izmerjenih temperatur v °C, na prikazovalniku po vrsticah.

Del A: Električna prevodnost bakra, aluminija in medenine (1.5 točke)

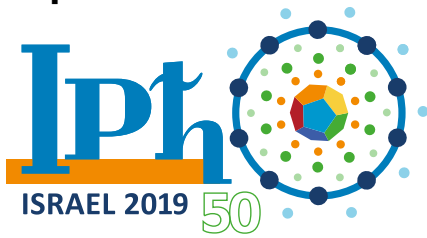
Teorija

Ko v prevodno cev pade trajni magnet, se v cevi inducirajo vrtnični tokovi in magnetno polje. Na trajni magnet zato deluje sila upora in pri padanju magnet kmalu doseže svojo končno hitrost, ki je

$$v_{terminal} = \frac{8\pi m g a^2}{\mu_0^2 (\pi r_m^2 M)^2 \sigma w f \left(\frac{d}{a}\right)}. \quad (1)$$

Masa magneta je m , σ je električna prevodnost snovi, iz katere je cev, a je notranji polmer cevi, r_m in d sta, po vrsti, polmer in višina magneta, M je magnetizacija magneta, w je debelina stene cevi in $f\left(\frac{d}{a}\right)$ je geometrijski faktor. V našem primeru je $a \approx r_m$, $d = 2r_m \approx 2a$ in $f(2) \approx 1.75$. Čas padanja magneta

Experiment



Q2-5

slovenian only (Slovenia)

skozi cev približno opiše zveza

$$t = 0.22 \frac{\pi r_m^2 (\mu_0 M)^2 w L_0}{mg} \sigma. \quad (2)$$

Tu je $L_0 = 0.2$ m dolžina cevi. Predpostavimo, da magnet doseže svojo končno hitrost takoj, ko ga spustimo v cev.

Parametri cevi in magneta, ki jih potrebujemo za izračune, so

$$\mu_0 M = 0.65 \text{ T}, w_{\text{Aluminum}} = w_{\text{Copper}} = 7.0 \times 10^{-3} \text{ m}, w_{\text{Brass}} = 6.5 \times 10^{-3} \text{ m}, m = 1.2 \times 10^{-3} \text{ kg}, r_m = 3.0 \times 10^{-3} \text{ m}, g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

DELEGATION PRINT

Experiment



Q2-6

slovenian only (Slovenia)

Eksperiment

A.1 Prikazovalnik uporabi kot štoparico in izmeri čas, v katerem magnet pade skozi bakreno cev in cevi iz medenine in aluminija. Meritve vpiši v tabelo A1. 1.0pt

A.2 Uporabi zapisane izraze in določi koeficiente električne prevodnosti σ_{Aluminum} , σ_{Copper} in σ_{Brass} za vsako od treh snovi. 0.5pt

Del B: Toplotna prevodnost bakra (3.0 točke)

Namen tega dela poskusa je, da izmeriš koeficient toplotne prevodnosti bakra v skoraj stacionarnem termičnem stanju kovinske palice.

Teorija

Koeficient toplotne prevodnosti κ vpeljemo z izrazom $P(x) = -\kappa A \cdot \frac{\Delta T(x)}{\Delta x}$, ki linearno poveže lokalni gradient temperature $\Delta T(x)/\Delta x$ (pri x) s toplotnim tokom $P(x)$, ki teče skozi določen presek snovi A na tistem mestu.

Eksperiment

Poveži digitalni prikazovalnik in palico #1 s SVT in ju umeri. V posodo nalij 4 litre (2 plastenki) vode, da bo toplotni izmenjevalnik v celoti potopljen, in zapri pokrov.

B.1 Zapiši začetno temperaturo palice #1, ko jo položiš na mizo. 0.1pt

SVT, ki povezuje prikazovalnik in palico, odklopi od palice. S palice odstrani izolirno kapo in privij palico #1 na pokrov posode. Ponovno poveži palico in prikazovalnik, kot kaže slika 5. Vse mehanske manipulacije opravi z občutkom.



Slika 5

Experiment



Q2-7

slovenian only (Slovenia)

- B.2** Skiciraj vezje, s katerim boš v krajišče palice vgrajenemu grelcu dovajal električno moč in to moč tudi meril. V vezje vključi vir napetosti 9 V, grelec (že pritrjen na palico), voltmeter, ampermeter in vodnike. Vodnike lahko uporabiš tudi kot stikalo. 0.5pt

Toplotno prevodnost meriš pri takem procesu, pri katerem toploto dovajaš palici na enem krajišču, njeno drugo krajišče pa ohranjaš na skoraj stalni temperaturi toplotnega rezervoarja – vode v posodi.

Zveži pripomočke po skici iz dela B2 in priključi grelec na vir napetosti. Prizadevaj si, da dosežeš stacionarno stanje palice pri vseh termometrih.

- B.3** Izvedi ustrezne meritve in izračunaj moč, ki jo prejema grelec. Rezultat napiši na list za odgovore. 0.1pt

Počakaj 15 minut, medtem grelec deluje (vmes lahko načrtuješ nadaljevanje poskusa).

- B.4** V razpredelnico zapiši temperature, ki jih kaže vseh 8 termometrov ob približnih časih 15 min, 17.5 min in 20 min. 0.5pt

- B.5** V isti koordinatni sistem (na listu z milimetrsko mrežo) nariši tri grafe, ki prikazujejo temperaturo v palici v odvisnosti od lege na palici ob teh treh časih. Te grafe boš uporabil v delu D. 1.0pt

- B.6** Iz grafa za čas približno 17.5 min določi koeficient toplotne prevodnosti κ_0 . Morebitne toplotne izgube zanemari. Oceni velikost časovnega odvoda temperature $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ ob tem času (kako hitro se je tedaj spreminjala temperatura palice). 0.5pt

- B.7** Ali je izmerjena vrednost κ_0 večja, manjša ali enaka kot prava (realna) vrednost κ ? 0.3pt

Del C: Ocena toplotnih izgub in toplotne kapacitete bakrene palice (4.0 točke)

Teorija

Toplotno kapaciteto sistema C vpeljemo s katerimkoli od dveh izrazov

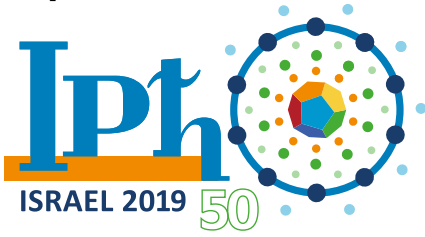
$$\Delta Q = C\Delta T, \quad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right), \quad (3)$$

kjer je $\Delta Q/\Delta t$ toplotni tok med sistemom in okolico, $\Delta T/\Delta t$ je hitrost spreminjanja temperature sistema. Specifična toplota c_p je toplotna kapaciteta na enoto mase. Masa bakrene palice je 0.58 kg.

Eksperiment

Izključi grelec. Razveži vezje, odvij palico #1 in jo položi na mizo. Na palico namesti izolirno kapo, kot je bila nameščena na začetku. Ponovno zveži vezje za grelec in poveži palico #1 s prikazovalnikom.

Experiment



Q2-8

slovenian only (Slovenia)

OPOZORILO: Grelca ne imej vključenega predolgo, ne da bi vmes preverjal temperaturo palice.

Iz zaporedja hlajenja, gretja in ponovnega hlajenja lahko pridobimo podatke o toplotnih izgubah in toplotni kapaciteti palice. V fazi gretja naj se povprečna temperatura spremeni za približno 2.5°C . Primerno natančnost pri tem poskusu dosežeš, če traja celo zaporedje procesov hlajenja, gretja in hlajenja 10 - 15 minut.

Prizadevaj si, da v tem delu poskusa opravljaš meritve v bližini stacionarnega stanja, ki si ga imel pri delu B.

Upoštevati želimo vso termično energijo, shranjeno v palici, zato spremljamo njeno povprečno temperaturo. Ta je približno enaka temperaturi na sredini palice.

C.1	Izvedi zaporedje hlajenja-gretja-hlajenja in beleži svoje meritve v tabelo C1, da lahko določiš povprečno temperaturo.	1.0pt
------------	--	-------

C.2	Na milimetrsko mrežo nariši graf, ki prikazuje časovni potek povprečne temperature palice.	1.0pt
------------	--	-------

C.3	Iz grafa določi specifično toploto bakra c_p in toplotni tok izgub P_{loss} v bližini temperature, ki je enaka povprečni temperaturi v delu B. Svojo metodo prikaži z diagrami in enačbami.	1.0pt
------------	--	-------

Če želimo izboljšati natančnost izmerjenega koeficienta toplotne prevodnosti v delu B, moramo upoštevati dve pomembni okoliščini.

- Toplota uhaja iz palice v radialni smeri zaradi prevajanja skozi izolacijo.
- Sistem v času meritev ni dosegel stacionarnega stanja.

Upoštevaj, da navedeni okoliščini vplivata na toplotni tok vzdolž palice v prvem približku tako, da se tok vzdolž palice spreminja enakomerno, velja $\Delta P(x) / \Delta x = \text{konst.}$

C.4	Izrazi popravek k toplotni prevodnosti, določeni v delu B, v prvem približku, upoštevaj obe omenjeni okoliščini. Uporabi parametre κ_0 , P , c_p , m , P_{loss} , $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ iz delov B,C, da z njimi zapišeš natančnejšo vrednost koeficienta toplotne prevodnosti κ_{copper} in jo izračunaj.	1.0pt
------------	--	-------

Del D: Toplotna prevodnost medenine in aluminija (1.0 točka)

S prikazovalnikom poveži izolirano palico #2 in umeri termometre, kot je opisano na začetku dela B.

D.1	Zapiši začetno temperaturo palice, ko jo položiš na mizo.	0.1pt
------------	---	-------

Iz palice izključi SVT. Palico #2 privij na pokrov posode, kot kaže slika 4. Ponovno poveži palico in prikazovalnik.

Ponovi postopek segrevanja iz dela B, da se palica #2 približa stacionarnemu stanju.

Grelec naj deluje vsaj **15 minut** preden pričneš z meritvami.

V tem delu lahko predpostaviš, da je palica v stacionarnem stanju.

Experiment



Q2-9

slovenian only (Slovenia)

- D.2** Zapiši temperature, ki jih izmeri vseh 8 termometrov v palici #2 in zapiši $\Delta T/\Delta x$ za vsakega od ustreznih odsekov. 0.2pt

V prvem približku popravka predpostavi isto kot pri vprašanju C.4, da je $\Delta P(x)/\Delta x$ konstanta.

- D.3** Uporabi svoje prejšnje meritve, izrazi κ_{Brass} in κ_{Aluminum} ter izračunaj njuni vrednosti. 0.7pt

Del E: Wiedemann-Franzov zakon (0.5 točke)

Wiedemann-Franzov zakon pravi, da je v kovinah, v katerih so za prevajanje toplote najpomembnejši elektroni, razmerje med koeficientoma toplotne in električne prevodnosti linearno odvisno od absolutne temperature sistema. Zakon določa tudi strmino: koeficient $L = \frac{\kappa}{\sigma T}$ (poznano kot "Lorenzovo število") te odvisnosti je enak za večino kovin in ga opredeljujejo le splošne naravne konstante. V kovinah pri sobni temperaturi in v resničnem svetu ta zakon velja z 90% natančnostjo.

- E.1** Zapiši svoje ugotovitve glede toplotne in električne prevodnosti (κ, σ) v tabelo E1. Izračunaj vrednost L za vse tri kovine in jih zapiši v isto razpredelnico E1. Pri tem predpostavi, da v prvem približku toplotna prevodnost snovi ni odvisna od temperature. 0.5pt