

# Fizikalni praktikum 3

## Kratka navodila k podatkom

**Gregor Kladnik**  
Oddelek za fiziko, FMF  
[gregor.kladnik@fmf.uni-lj.si](mailto:gregor.kladnik@fmf.uni-lj.si)

verzija 2020-11-02

Kratka navodila s podatki in meritvami za analizo praktikumskeh vaj v zimskem semestru 2. letnika v šolskem letu 2020/21 na Fakulteti za matematiko in fiziko, UL. Poleg tega navodila so pri večini vaj za analizo potrebne tudi datoteke s shranjenimi meritvami, ki jih najdete v spletni učilnici. Imena datotek so za boljšo preglednost v teh navodilih izpostavljena z znakom .

## Kazalo

1 Akustični resonator - AkRes . . . . .	1
2 Feromagnetizem - FerMag . . . . .	3
3 Absorpcija žarkov $\gamma$ in $\beta$ - GamaBeta . . . . .	5
4 Meritve magnetnega polja z indukcijo - MagInd . . . . .	7
5 Michelsonov interferometer - MichInt . . . . .	9
6 Piezoelektričnost - Piezo . . . . .	12
7 Karakteristika Si fotodiode - SiDiod . . . . .	14
8 Toplotna prevodnost - TopPre . . . . .	16
9 Torzijsko nihalo z visečo žico - TorNih . . . . .	18
10 Lastnosti transmisijske linije - TrLin . . . . .	20
11 Preslikave z uklonsko lečo - UklLec . . . . .	21
12 Upogib palice - Upogib . . . . .	23
13 Zemeljsko magnetno polje - ZeMaPo . . . . .	25

## 1 Akustični rezonator - AkRes

### 1.1 Meritev rezonančnega odziva

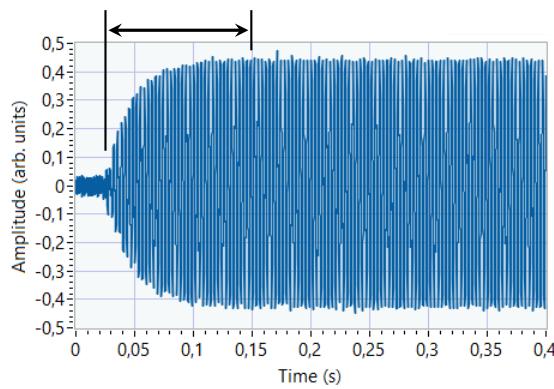
Pri tej meritvi (nalogi 2) rezonator vzbujamo z zvokom na frekvenčnem intervalu od 200 Hz do 1000 Hz ter merimo odziv z mikrofonom, ki smo ga postavili v skrajno lego, slika (1)

 levo. Meritve frekvenčnega odziva so shranjene v datoteki [nal02\\_resonancni\\_odziv.txt](#), kjer je prvi stolpec vzbujevalna frekvenca  $\nu$ , drugi stolpec izmerjena amplituda  $A$  zajetega signala, tretji stolpec standardna deviacija  $\sigma$  zajetega signala, četrти stolpec pa amplituda  $A_\nu$ , komponente signala s frekvenco  $\nu$  (lock-in detekcija). Pri meritvi smo pozorni, da izberemo dovolj majhen korak v frekvenci za ustreznno določitev rezonančnih krivulj.



**Slika 1:** (levo) Odprt akustični rezonator s postavljivo mikrofonom v skrajni legi pri meritvi rezonančnega odziva. (desno) V rezonator dodamo absorber (črno blago) in ponovimo meritve.

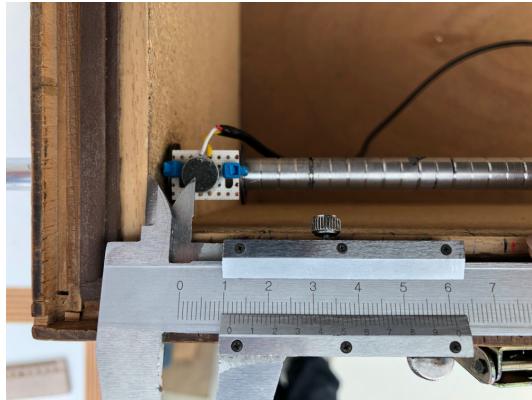
Eden izmed parametrov pri meritvah je tudi **skip**, ki določa dolžino začetnega dela signala na mikrofonu (v sekundah), ki ga pri določitvi amplitude zanemarimo. Kot vsak senzor ima namreč mikrofon tudi t.i. prehodni pojav, to je območje na začetku signala, kjer mikrofon še ni dosegel končnega odziva, slika (2).



**Slika 2:** Izmerjen odziv mikrofona z označenim prehodnim pojavom.

**Dodatno:** Enako meritev ponovimo z dodanim absorberjem (blago) v resonatorju, slika (1) desno. Kaj se zgodi z resonančnim odzivom? Primerjaj amplitude, širine in lege resonanc resonančnega odziva resonatorja z in brez absorberja. Meritve so shranjene v datoteki  [nal02\\_resonancni\\_odziv\\_z\\_absorberjem.txt](#).

## 1.2 Zvočni profil v resonatorju pri nekaj lastnih frekvencah



**Slika 3:** Meritev začetne lege mikrofona s kljunastim merilom.

Pri nalogi 3 najprej s pomočjo enačbe za lastne frekvence resonatorja izračunamo štiri najnižje lastne frekvence pri katerih je parameter  $n_x = (0, \dots, 3)$ , za hitrost zvoka privzamemo približek  $c = 340 \text{ m s}^{-1}$ . Nato iz izmerjenega resonančnega odziva iz prejšnje naloge poiščemo lege (frekvence) resonanc, ki so najbližje izračunanim ter jih uporabimo pri tej nalogi. Za vsako izbrano lego mikrofona vzdolž  $x$ -osi resonatorja (premik  $(10 \pm 1)$  mm, začetna lega mikrofona od leve notranje stene resonatorja  $(11.7 \pm 0.2)$  mm, slika (3)) izmerimo amplitudo signala (na 3 omenjene načine).

Meritve so zbrane v datotekah v tabeli (1).

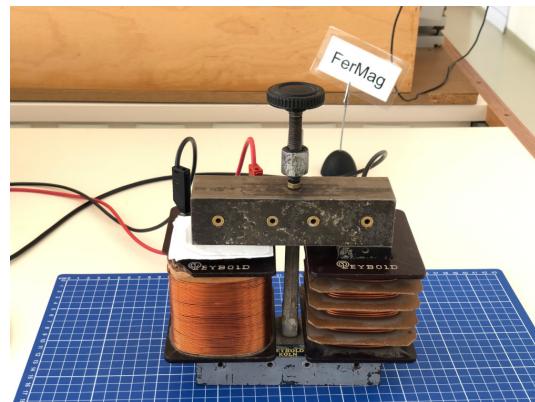
$(n_x, n_y, n_z)$	Izračunana frekvenca $\nu_{izr}$ (Hz)	Imerjena frekvenca $\nu$ (Hz)	Ime datoteke
(1, 0, 0)	299.8	308.5	<a href="#">nal03_frekv_308.txt</a>
(2, 0, 0)	599.6	615.0	<a href="#">nal03_frekv_615.txt</a>
(3, 0, 0)	899.5	930.5	<a href="#">nal03_frekv_930.txt</a>
(0, 1, 0)	441.6	455.5	<a href="#">nal03_frekv_455.txt</a>

**Tabela 1:** Ime datotek z zbranimi meritvami zvočnega profila vzdolž  $x$ -osi resonatorja pri izbranih lastnih frekvencah.

## 2 Feromagnetizem - FerMag

### 2.1 Histerezna krivulja magnetnega kroga iz transformatorskega jekla

Magnetni krog (jarem oblike U iz transformatorskega jekla) zaključimo s kosom iz transformatorskega jekla v obliki črke I, slika (4) levo. Meritev izvedemo s pomočjo programa na prenosniku ter kontrolne elektronike. Pred vsako meritvijo opravimo najprej kalibracijo, potem sistem demagnetiziramo ter šele nato izvedemo samo meritev. Rezultati meritev so shranjeni v datoteki **nal01\_jeklo01.txt**, kjer je v prvem stolpcu zapisan čas  $t$  (s), v drugem stolpcu tok  $I$  (A) na primarni tuljavi, v tretjem stolpcu izmerjena inducirana napetost  $U$  (V) na sekundarni tuljavi ter v četrtem stolpcu integrirana inducirana napetost  $F$  (V s).



**Slika 4:** (levo) Zaključen magnetni krog iz transformatorskega jekla s primarno tuljavo na levi in sekundarno tuljavo na desni strani jarma. (desno) Zaključen magnetni krog s tanko režo iz listkov.

### 2.2 Gostota magnetnega polja v tanki reži

Pri nalogi 2 izmerimo histerezne krivulje za magnetni krog sestavljen iz transformatorskega jekla, kjer na enem stiku med jarmom in dodanim kosom v obliki črke I ustvarimo tanke reže s pomočjo listov papirja, slika (4) desno. Histereze izmerimo za več različnih debelin rež  $d$ . S pomočjo mikrometrskega vijaka izmerimo debelino 20 listov kot  $d_{20} = (1.91 \pm 0.01)$  mm. Meritve histerez so zbrane v v datotekah v tabeli (2).

število listov	Ime datoteke
1	<b>nal02_jeklo_01.txt</b>
2	<b>nal02_jeklo_02.txt</b>
3	<b>nal02_jeklo_03.txt</b>
4	<b>nal02_jeklo_04.txt</b>
5	<b>nal02_jeklo_05.txt</b>
6	<b>nal02_jeklo_06.txt</b>

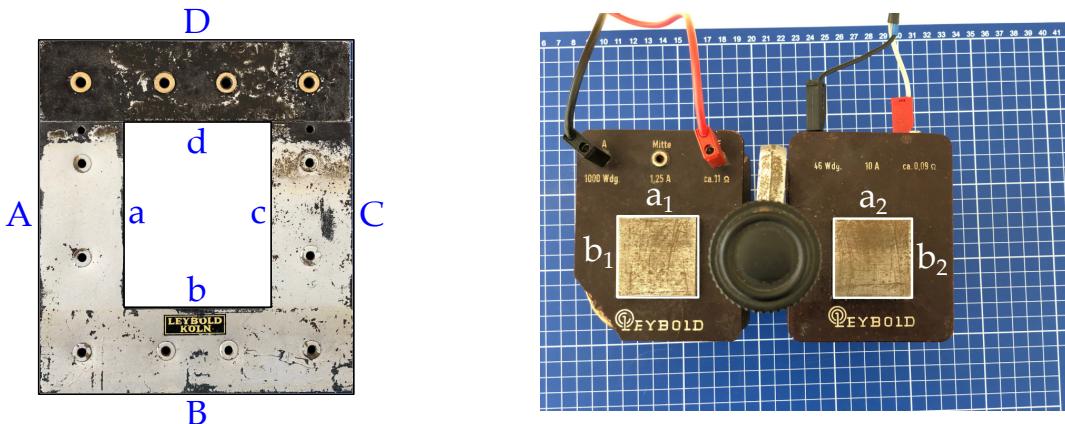
**Tabela 2:** Ime datotek z zbranimi meritvami histerez za magnetni krog s tanko režo različnih debelin.

### 2.3 Histerezna krivulja sestavljenega magnetnega kroga

Sedaj magnetni jarem zaključimo z masivnim kosom železa v obliki črke I ter izmerimo histerezno krivuljo na enak način kot pri nalogi 1. Magnetni krog je sedaj sestavljen iz dveh feromagnetnih materialov različnih permeabilnosti (jekleni jarem in masivni kos železa). Meritve so shranjene v datoteki [nal03\\_železo.txt](#).

### 2.4 Geometrijske lastnosti jarma

Za umeritev izmerjenih histerez je potrebno še določiti povprečno dolžino  $L$  ter presek  $S$  jarma, slika (5).



**Slika 5:** (levo) Označene izmerjene dimenzijske zbrane v tabeli (3) za izračun povprečne dolžine jarma  $L$ . (desno) Označene izmerjene dimenzijske zbrane v tabeli (3) za izračun preseka jarma  $S$ .

Oznaka	Dolžina (mm)
a	$89.76 \pm 0.02$
b	$69.96 \pm 0.02$
c	$89.82 \pm 0.02$
d	$70.00 \pm 0.02$
A	$169.12 \pm 0.04$
B	$150.42 \pm 0.02$
C	$169.04 \pm 0.04$
D	$150.26 \pm 0.02$

Oznaka	Dolžina (mm)
a <sub>1</sub>	$40.36 \pm 0.02$
b <sub>1</sub>	$41.16 \pm 0.02$
a <sub>2</sub>	$40.12 \pm 0.02$
b <sub>2</sub>	$40.88 \pm 0.02$

**Tabela 3:** Izmerjene dimenzijske jarma označene na sliki (5).

### 3 Absorpcija žarkov $\gamma$ in $\beta$ - GamaBeta

#### 3.1 Meritev aktivnosti v odvisnosti od razdalje med virom in detektorjem

Pri prvi nalogi nas zanima kakšna je odvisnost izmerjene aktivnosti od razdalje med virom (cezij) in detektorjem (Geiger-Müllerjeva cev). V ta namen izmenično vstavimo v posamezen predal nosilca vir in izmerimo število sunkov  $N$ . Postavitev eksperimenta je predstavljena na sliki (6) levo.



**Slika 6:** (levo) Postavitev eksperimenta. Na sliki je prikazana meritev pri nalogi 3 z absorberjem (Al ploščico) nad virom. (desno) Svinčena škatla z virom.

- ☰ Meritve so zbrane v datoteki [nalog01\\_predali.txt](#), kjer je prvi stolpec številka predala (1 ustreza predalu najbliže virusu), drugi stolpec je število izmerjenih sunkov  $N$ , tretji stolpec pa je čas meritve  $t$ . Razdaljo med predali izmerimo preko skupno 9 predalov in dobimo  $d_9 = (90.12 \pm 0.04)$  mm.

#### 3.2 Meritev sevanja ozadja

Naslednji korak je meritev sevanja ozadja. Vir (cezij) pospravimo v svinčeno škatlo, slika (6) desno, ter jo odnesemo čim dlje od detektorja (na drugi konec praktikuma). Sevanje ozadja merimo zaradi nizke aktivnosti dlje časa in dobimo  $N = 1085$  sunkov v  $t = 3000$  s.

#### 3.3 Absorpcija žarkov $\beta$ v aluminiju

Najprej nas zanima absorpcija žarkov  $\beta$  v aluminiju. Vir postavimo v tretji predal, tako da je nad njim prostora za dva predala, kamor vstavljam Al absorberje različnih površinskih gostot. Izmerimo število sunkov za čim večji razpon različnih površinskih gostot. Od neke dovolj velike površinske gostote bomo opazili, da se število sunkov ne manjša več, dosegli smo plato. To je debelina aluminija, ki absorbira vso  $\beta$  sevanje, prepušča pa še sevanje  $\gamma$ . Za čim boljšo meritev odvisnosti aktivnosti od debeline Al absorberjev poleg ploščic uporabimo še Al folijo različnih debelin, ki jih izmerimo z mikrometrskim vijakom. Meritve so zbrane v datoteki [nolog03\\_abs\\_beta.txt](#), kjer so v prvem stolpcu zbrane oznake uporabljenih ploščic (tudi kombinacije, npr. A+B) ter dodatne Al folije (debelina podana v mm). V drugem stolpcu so zbrana števila sunkov  $N$  izmerjena v času  $t = 300$  s.

### 3.4 Absorpcija žarkov $\gamma$ v svincu

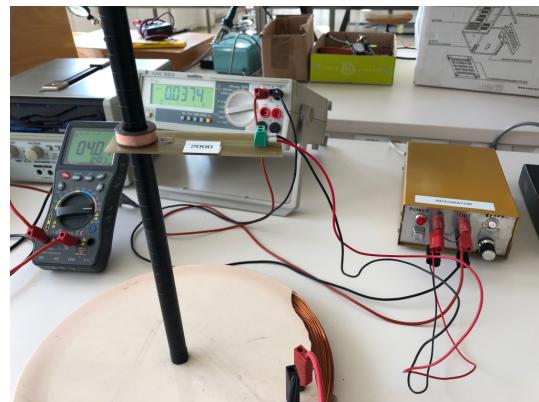
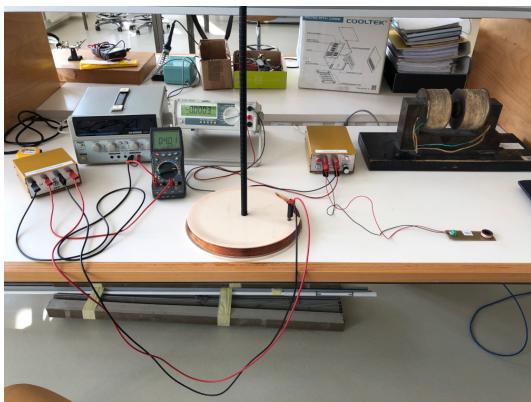
Vir postavimo dovolj nizko, tako da je nad njim prostora za 3 predalčke. Nad vir vstavimo Al ploščico z debelino, ki je dovolj velika da absorbira vso  $\beta$  sevanje (ugotovljeno iz prejšnje naloge, uporabimo ploščico M). Čas zajemanja nastavimo takšen, da zaznamo vsaj 500 sunkov brez svinčenih absorberjev. Nato dodajamo ploščice svinca ter izmerimo odvisnost števila sunkov od čim večjega števila različnih površinskih gostot svinčenih ploščic. Meritve so zbrane v datoteki [nalog04\\_abs\\_gama.txt](#), kjer so v prvem stolpcu zbrane oznake ploščic (tabela oznak in pripadajočih površinskih gostot je podana v navodilu vaje), v drugem stolpcu pa so podana izmerjena števila sunkov  $N$ , čas zajemanja je bil  $t = 500$  s.



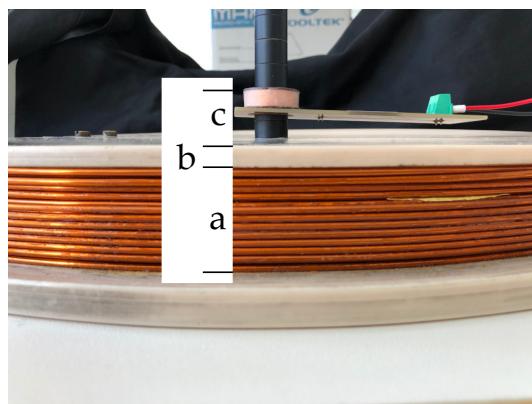
## 4 Meritve magnetnega polja z indukcijo - MagInd

### 4.1 Meritev magnetnega polja v osi velike tuljave

Veliko tuljavo napajamo s konstantnim tokom  $I = (4.05 \pm 0.01) \text{ A}$  ter merimo gostoto magnetnega polja  $B$  v njeni v osi v odvisnosti od oddaljenosti  $h$  od njenega središča z merilno tuljavico, slika (7). Na merilni tuljavici se inducira napetost, ki jo vodimo na vhod integratorja. Napetost na izhodu integratorja je sorazmerna z razliko gostot magnetnega polja v začetni in končni točki meritve. Vse meritve so zbrane v datoteki [naloge01.os.tuljave.txt](#), kjer je v prvem stolpcu zapisana lega merilne tuljavice (v cm, nedoločenost  $\pm 0.1 \text{ cm}$ ), v drugem stolpcu pa napetost na izhodu integratorja (V, nedoločenost  $\pm 2 \text{ mV}$ ). Začetna lega merilne tuljavice (vrednost 0 cm v datoteki) je prikazana na sliki (8).



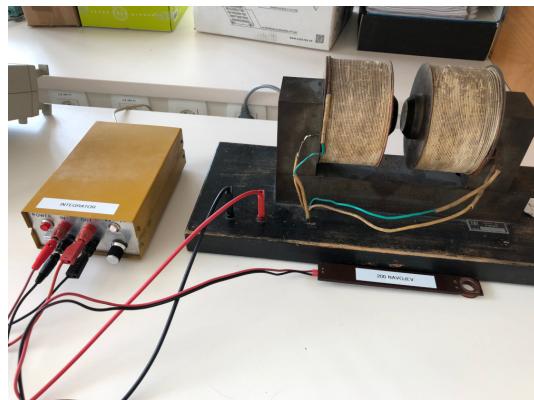
**Slika 7:** Postavitev eksperimenta (levo) ter meritev magnetnega polja v osi velike tuljave z merilno tuljavico (desno).



**Slika 8:** Označene dimenzijske linije na merilni tuljavici pri meritvi gostote magnetnega polja v osi velike tuljave:  $a = (20.38 \pm 0.02) \text{ mm}$  - debelina velike tuljave,  $b = (3.50 \pm 0.02) \text{ mm}$  - debelina plastičnega ohišja velike tuljave in  $c = (20.72 \pm 0.02) \text{ mm}$  - oddaljenost zgornjega roba merilne tuljavice od plastičnega ohišja velike tuljave. Debeline merilne tuljavice je  $(9.44 \pm 0.02) \text{ mm}$ .

## 4.2 Meritev gostote magnetnega polja v reži elektromagneta

Z manjšo merilno tuljavico merimo gostoto magnetnega polja  $B$  v reži elektromagneta v odvisnosti od toka napajanja  $I$ . Merilno tuljavico vtaknemo v režo in zapišemo napetost na izhodu integratorja za vsak izbran tok napajanja elektromagneta. Meritve so zbrane v datoteki [naloga02\\_elektromagnet.txt](#), kjer je v prvem stolpcu podan tok napajanja  $I$  (A, nedoločenost  $\pm 0.01$  A), v drugem stolpcu pa napetost na izhodu iz integratorja  $U$  (V, nedoločenost  $\pm 6$  mV za izmerjene napetosti manjše od 2.5 V ter  $\pm 10$  mV za višje napetosti).

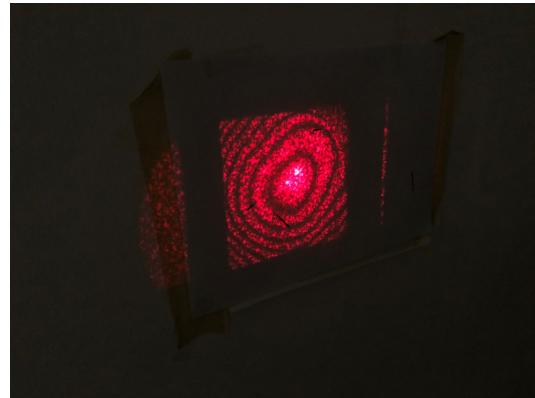
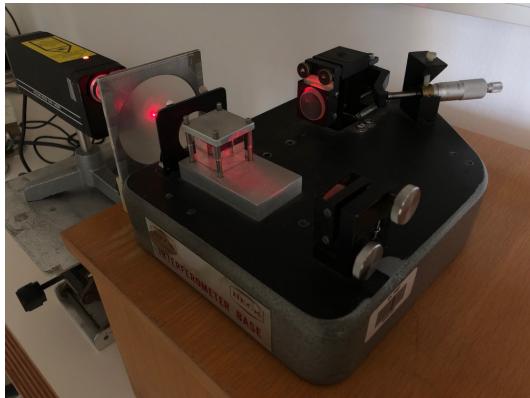


**Slika 9:** Meritev magnetnega polja v reži elektromagneta v odvisnosti od toka napajanja  $I$ .

## 5 Michelsonov interferometer - MichInt

### 5.1 Umeritev interferometra

Pri prvi nalogi najprej umerimo interferometer. Prenosno razmerje med mikrometrskim vijakom in zrcalom je potrebno poiskati tako, da s pomočjo laserja z znano valovno dolžino (633 nm) svetimo v interferometer ter na izhodu opazujemo interferenčno sliko. Pri vrtenju mikrometrskega vijaka se spreminja dolžina (optična pot) ene izmed vej interferometra ter s tem fazna razlika med laserskima snopoma. To povzroči spremembo pogoja za interferenco in tako spremembo interferenčne slike na zaslonu, slika (10).



**Slika 10:** (levo) Michelsonov interferometer na vhodu osvetljen z laserjem z znano valovno dolžino. (desno) Ob ustreznih nastavitevih zrcal interferometra vidimo na izhodu interferenčno sliko.

Zapišemo si začetno lego na mikrometrskem vijaku in ga vrtimo tako dolgo dokler se interferenčna slika ne ponovi vsaj 100-krat. Takrat si zapišemo še končno lego na mikrometrskem vijaku. Meritve so zbrane v tabeli (4).

Premik na vijaku (mm, $\pm 0.01$ mm)
0.16
0.165
0.16

**Tabela 4:** Izmerjeni premiki na mikrometrskem vijaku za  $N = 100 \pm 2$  ponovitev interferenčne slike.

### 5.2 Odvisnost lomnega količnika zraka od zračnega tlaka

Sedaj v eno vejo interferometra vstavimo zračno komoro v kateri lahko s pomočjo tlačilke spremembo zračni tlak, slika (11). Opazimo lahko, da se ob počasnem zmanjševanju tlaka v komori prične interferenčna slika spremembiti. Tudi v tem primeru se spreminja dolžina optične poti v eni izmed vej interferometra, vendar tokrat ne zaradi spremembe dolžine veje, temveč zaradi spremembe lomnega količnika zraka in s tem hitrosti svetlobe v komori. Za različne tlačne spremembe  $\Delta p$  prestejemo število ponovitev interferenčne slike, meritve so

zbrane v tabeli (5). Iz meritev lahko izluščimo odvisnost lomnega količnika zraka  $n$  od tlaka  $p$ .

$\Delta p$ (bar, $\pm 0.05$ bar)	št. ponovitev ( $\pm 1$ )
0.50	20
0.70	28
1.00	43
1.20	55
1.50	68
1.75	81
2.00	92

**Tabela 5:** Izmerjeno število ponovitev.



**Slika 11:** Postavitev eksperimenta.

### 5.3 Določanje ekvidistančne lege

Laser zamenjamo z belim svetilom (žarnica na volframovo nitko) in iščemo lego na mikrometrskem vijaku, pri kateri opazimo interferenčne proge z največjim kontrastom. Vrednost na vijaku si zapišemo (6.66 mm).

### 5.4 Ocena koherenčne dolžine za belo svetlobo

Koherenčno dolžino za belo svetlobo ocenimo tako, da opazujemo interferenčno sliko in se z vrtenjem vijaka počasi oddaljujemo iz ekvidistančne lege. Pri tem opazimo, da se kontrast interferenčnih prog manjša. Preštejemo število prog, kjer kontrast iz maksimalnega (v ekvidistančni legi) pada na polovico. V tem primeru gre za subjektivno "meritev", zato dobimo le oceno reda velikosti in ne natančnega rezultata. V našem primeru smo prešteli med 9 do 11 prog.

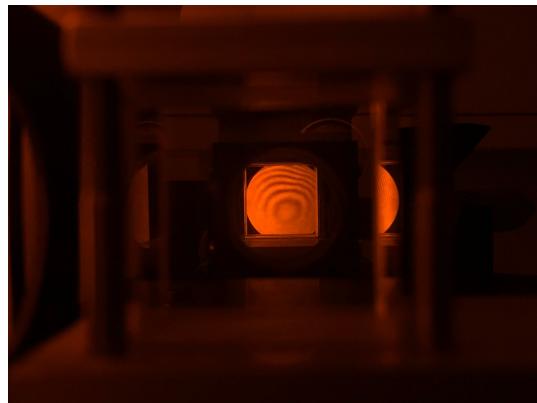
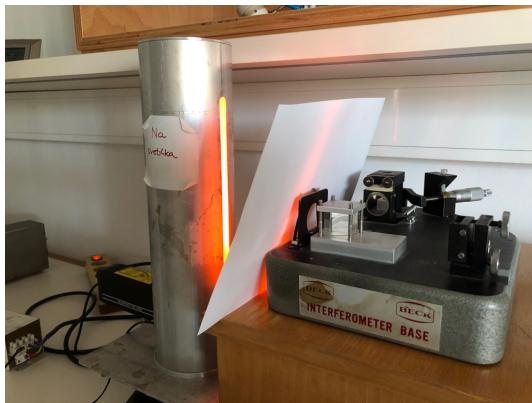
### 5.5 Določitev valovnih dolžin najizrazitejših emisijskih črt Na svetilke

Pred vhod interferometra postavimo Na svetilko vmes pa bel list papirja, ki služi za bolj enakomerno osvetlitev hkrati pa tudi nekoliko zmanjša svetlost svetila, slika (12). Na svetilko ima v svojem spektru več emisijskih črt, med katerimi sta najizrazitejši črti pri valovni dolžini, ki daje značilno oranžno barvo svetilu. Razlika valovnih dolžin obeh črt je zelo majhna (govorimo o doubletu) kar povzroči, da v interferometru poleg interferenčnih prog lahko ob sprememjanju razlike optičnih poti opazimo sprememjanje kontrasta interferenčnih prog (utripanje). Podobno kot pri prvi nalogi najprej za 100 ponovitev interferenčne slike izmerimo premik na mikrometrskem vijaku, tabela (6).

Premik na vijaku (mm, $\pm 0.01$ mm)
0.15
0.145
0.15

**Tabela 6:** Izmerjeni premiki na mikrometrskem vijaku za  $N = 100 \pm 2$  ponovitev interferenčne slike.

Nato izmerimo še premik na mikrometrskem vijaku med pobleditvami interferenčnih prog (minimummi kontrasta črt). Za skupno 9 pobleditev smo izmerili začetno lego 0.93 mm in končno lego 14.65 mm na mikrometrskem vijaku.



**Slika 12:** (levo) Postavitev Na svetilke in belega papirja pri merjenju interferenčnih črt. (desno) Interferenčna slika na izhodu interferometra za Na svetilko.

## 6 Piezoelektričnost - Piezo

### 6.1 Odziv piezoelektrične keramike ob obremenitvi/razbremenitvi

Piezoelektrična keramika je vstavljena med dve elektrodi in jo lahko na eni strani preko bata obremenimo. S pomočjo treh različnih uteži želimo izmeriti odziv piezoelektrične keramike tako, da jo najprej z izbrano utežjo previdno obremenimo ter na osciloskopu opazujemo napetost  $U$  (V) v odvisnosti od časa  $t$  (s), slika (13) levo. Izmerjeno odvisnost shranimo na USB ključ ter ponovimo meritve še za razbremenitev, slika (13) desno. Obe meritvi (obremenitev/razbremenitev) naredimo za vse tri uteži.



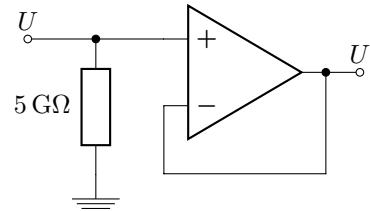
**Slika 13:** Meritev odziva  $U(t)$  ob bremenitvi piezoelektrične keramike (skrita v beli posodi z batom in utežjo na vrhu) (*levo*) ter ob razbremenitvi (*desno*).

Vse meritve shranimo v datoteke, ki so zbrane v tabeli (7).

Masa uteži	Meritve	Ime datoteke	
		meritve	izboljšana ločljivost
$(1005 \pm 1)$ g	razbremenitev	SDS00001.csv	<a href="#">SDS00001.txt</a>
	obremenitev	SDS00002.csv	<a href="#">SDS00002.txt</a>
$(502 \pm 1)$ g	obremenitev	SDS00003.csv	<a href="#">SDS00003.txt</a>
	razbremenitev	SDS00004.csv	<a href="#">SDS00004.txt</a>
$(195 \pm 1)$ g	obremenitev	SDS00005.csv	<a href="#">SDS00005.txt</a>
	razbremenitev	SDS00006.csv	<a href="#">SDS00006.txt</a>

**Tabela 7:** Izmerjene mase uteži ter imena datotek izmerjenih odvisnosti  $U(t)$  ob obremenitvi/razbremenitvi piezoelektrične keramike. Meritve neposredno iz osciloskopa so zbrane v datotekah s končnico `.csv`, za analizo meritve pa je bolje uporabiti datoteke `.txt` z obdelanimi podatki z izboljšano ločljivostjo napetosti ( $n = 5$ ). Kratka razlaga postopka izboljšanja ločljivosti je opisana na naslednji strani.

Del vezja s  $5\text{ G}\Omega$  uporom ter napetostnim sledilnikom se nahaja v škatlici, ki je vezana med izhod iz piezokristala (oz. kondenzatorja) ter vhod v osciloskop. Če odpremo pokrov škatlice, vidimo vsebino kot na sliki (14).



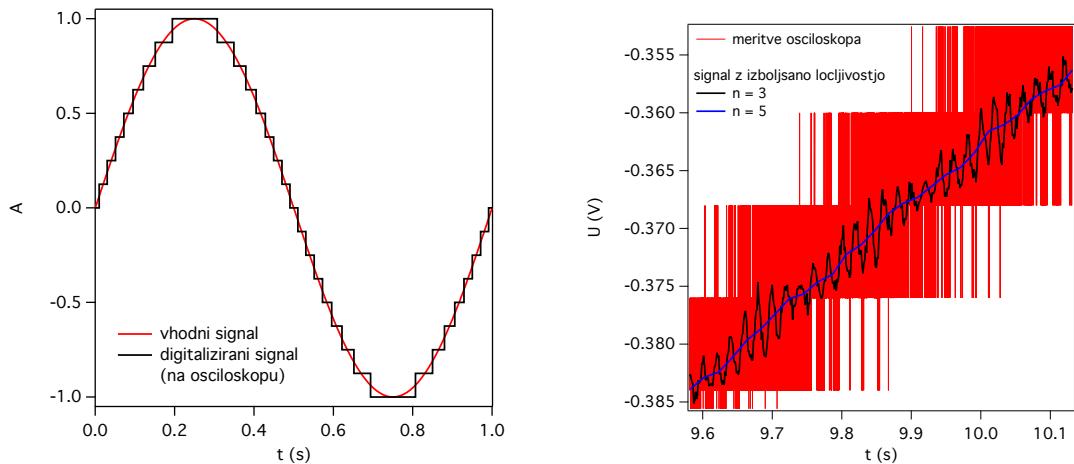
**Slika 14:** (levo) Slika vezja v škatli:  $5\text{ G}\Omega$  upor je v stekleni zaščiti, operacijski ojačevalci pa je integrirano vezje (čip) spodaj. Dva kondenzatorja (zgoraj) sta namenjena za glajenje in stabilizacijo napajanja operacijskega ojačevalca. (desno) Diagram vezja v škatli (brez kondenzatorjev).

## 6.2 Izboljšanje ločljivosti meritve napetosti $U$ z osciloskopom

Osciloskop digitalizira analogni vhodni signal s pomočjo 8-bitnega ADC (angl. *analog-to-digital converter*), zato je ločljivost izmerjene napetosti omejena: merilno območje 1 V lahko osciloskop tako prikaže z ločljivostjo

$$\Delta U = \frac{1\text{ V}}{2^8 - 1} \approx 3.9\text{ mV}. \quad (1)$$

Osciloskopi se namreč ne uporabljajo za natančne meritve napetosti temveč za meritve natančne časovne odvisnosti napetosti, oz. signalov. Ločljivost lahko zaradi hitrega vzorčenja (oversampling) izboljšamo tako, da povprečimo izmerjeno vrednost napetosti v intervalih dolžine (števila meritov)  $4^n$ , kjer je  $n$  vsak dodaten bit pridobljene ločljivosti. Podatke iz osciloskopa (csv datoteke) smo na tak način za vas že prilagodili, tabela (7).

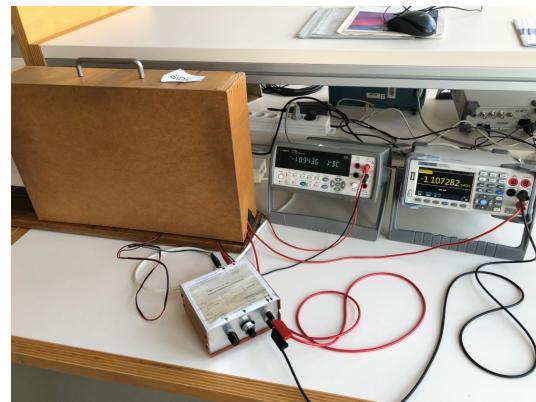
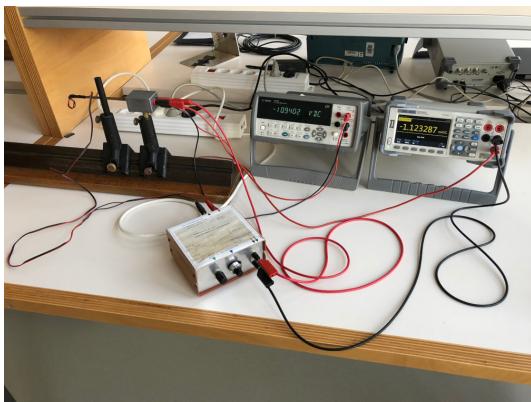


**Slika 15:** (levo) Primer 4-bitne digitalizacije vhodnega signala. (desno) Izsek izmerjenega signala z osciloskopom (rdeče) in signal s povečano ločljivostjo napetosti za  $n = 3$  (črna) in  $n = 5$  (modra).

## 7 Karakteristika Si fotodiode - SiDiod

### 7.1 Meritev $I(U)$ karakteristike Si fotodiode z zunanjim napajanjem

Najprej se lotimo meritve toka  $I$  v odvisnosti od napetosti  $U$  Si fotodiode v vezju z nastavljenim zunanjim napajanjem, slika (16). Karakteristiko merimo pri različnih osvetlitvah fotodiode, tj. pri največji osvetlitvi, kjer je razdalja med svetlečo diodo in fotodioko najmanjsa, najmanjši osvetlitvi, kjer izklopimo napajanje za svetlečo diodo ter pri treh vmesnih osvetlitvah, ki jih določimo z ustrezno razdaljo med svetilom in fotodioko.



**Slika 16:** Meritev  $I(U)$  karakteristike Si fotodiode v vezju z zunanjim napajanjem. Med meritvijo obe diodi zakrijemo, da odpravimo vpliv ozadja.

Meritve opravimo s programom za zajemanje podatkov iz obeh multimetrov ter jih shranimo v datoteke v katerih prvi stolpec predstavlja izmerjeno napetost  $U$  (V) drugi stolpec pa tok  $I$  (mA). Imena datotek pri izbranih razdaljah med diodama so zbrane v tabeli (8).

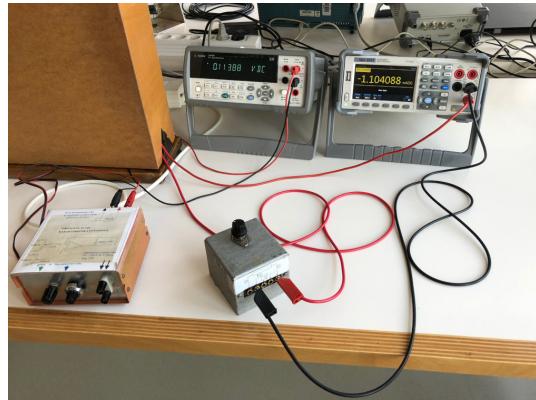
Oddaljenost (mm)	Ime datoteke
0.00	nal01_dist00.txt
5.00	nal01_dist05.txt
10.00	nal01_dist10.txt
15.00	nal01_dist15.txt
$\infty$	nal01_distInf.txt

**Tabela 8:** Izmerjene karakteristike  $I(U)$  fotodiode z zunanjim napajanjem pri različnih osvetlitvah. Nedoločenost izbranih razdalj je podana z ločljivostjo kljunastega merila ( $\pm 0.02$  mm).

### 7.2 Meritev $I(U)$ karakteristike v fotogalvanskem načinu

Sedaj nekoliko sprememimo vezavo, tako da zunanje napajanje zamenjamo z nastavljenim uporom (potenciometrom), slika (17). Meritve karakteristike fotodiode ponovimo pri enakih razdaljah kot pri prvi nalogi, razen v primeru, ko fotodioda ni osvetljena. V tem primeru namreč v vezju ni toka, saj je sedaj edini tokovni vir prav fotodioda.

Meritve shranimo v datoteke, ki so zbrane v tabeli (9).



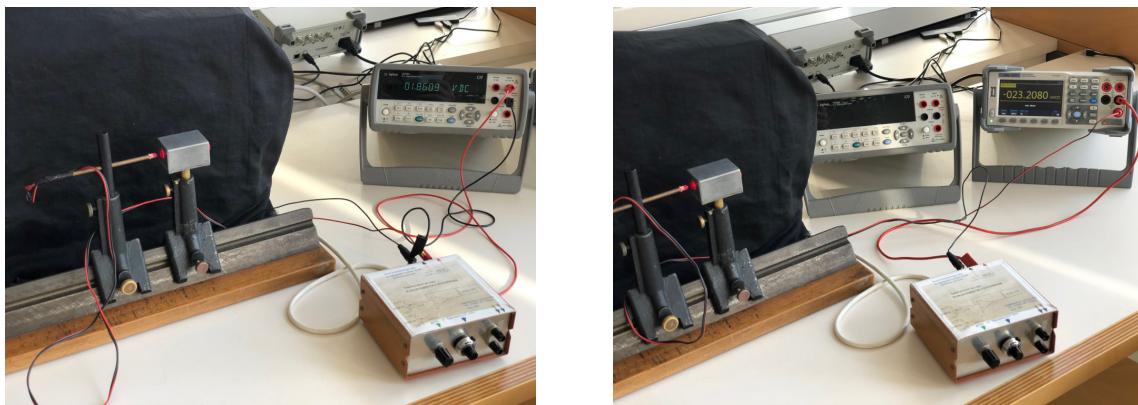
**Slika 17:** Merilno vezje v fotogalvanskem načinu, kjer zunanje napajanje zamenjamo z nastavljivim uporom (potenciometrom).

Oddaljenost (mm)	Ime datoteke
0.00	<a href="#">nal02_dist00.txt</a>
5.00	<a href="#">nal02_dist05.txt</a>
10.00	<a href="#">nal02_dist10.txt</a>
15.00	<a href="#">nal02_dist15.txt</a>

**Tabela 9:** Izmerjene karakteristike  $I(U)$  fotodiode v fotogalvanskem načinu brez zunanjega napajanja pri različnih osvetlitvah. Nedoločenost izbranih razdalj je podana z ločljivostjo kljunastega merila ( $\pm 0.02$  mm).

### 7.3 Izračun izkoristka svetleče diode (LED)

Za izračun izkoristka svetleče diode moramo izmeriti kakšna električna moč se troši na svetleči diodi. V ta namen imerimo napetost  $U_{LED}$  ter tok  $I_{LED}$  na svetleči diodi, slika (18).



**Slika 18:** Meritev napetosti  $U_{LED}$  (levo) ter toka  $I_{LED}$  na svetleči diodi.

## 8 Toplotna prevodnost - TopPre

### 8.1 Umeritev termočlena

Temperaturno razliko med dvema točkama merimo s termočlenom (sestavljen iz stika bakrene žice in žice iz konstantana, t.i. T-tip termočlena). Na izhodu termočlena z mikrovoltmetrom merimo napetost, ki se pojavi pri temperaturni razliki med obema vejama termočlena. Preden ga lahko uporabimo za meritev razlike temperatur, ga moramo umeriti. Umerimo ga tako, da eno vejo potopimo v ledeno vodo ( $\sim 0^\circ\text{C}$ ) drugo vejo pa v vročo vodo, slika (19) levo. Zapisujemo si temperaturi mrzle in vroče vode, ki ju merimo s termometrom ter napetost, ki se pojavi na termočlenu. Meritve so zbrane v datoteki [nalog01\\_umeritev.txt](#), kjer je prvi stolpec temperatura vroče vode  $T_2$  ( $^\circ\text{C}$ ), drugi stolpec pa napetost na termočlenu  $U_{t\bar{c}}$  (mV). Temperatura ledene vode je bila ves čas enaka  $T_1 = 0.0^\circ\text{C}$ . Termometra hkrati potopljena v ledeno vodo sta kazala  $T_1 = 0.0^\circ\text{C}$  in  $T_2 = 0.1^\circ\text{C}$ . Deklarirana natančnost termometrov je podana v navodilih naloge.



**Slika 19:** (levo) Umeritev termočlena z ledeno in vročo vodo. (desno) Meritev toplotne prevodnosti valjastega merjenca iz neznane kovine.

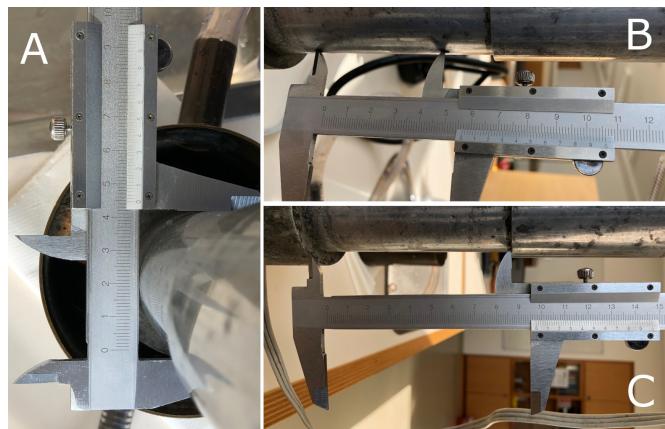
### 8.2 Meritev toplotne prevodnosti valjastega merjenca

Pri meritvi toplotne prevodnosti uporabimo postavitev na sliki (19) desno. Obe veji termočlena vtaknemo v luknjici v valjastem merjencu, ki ga zgoraj grejemo s konstantno močjo  $P$  (W) spodaj pa hladimo s konstantnim pretokom hladne vode. Ko se toplotni tok ustali, kar traja nekaj minut, se ustali tudi temperaturna razlika, ki jo merimo s termočlenom. Takrat si zapišemo moč gretja ter izmerjeno napetost na termočlenu. To naredimo pri več različnih močeh gretja. Meritve so shranjene v datoteki [nalog02\\_toppre.txt](#), kjer je v prvem stolpcu zapisana moč gretja ( $\pm 0.5 \text{ W}$ ), v drugem stolpcu pa napetost na termočlenu (mV).



### 8.3 Geometrijske lastnosti merjenca

Izmeriti, oziroma določiti moramo še nekaj geometrijskih lastnosti merjenca, kot je njegova dolžina  $L$ , razdalja med luknjicama  $l$  v merjencu, ter njegov presek  $S$ , slika (20).

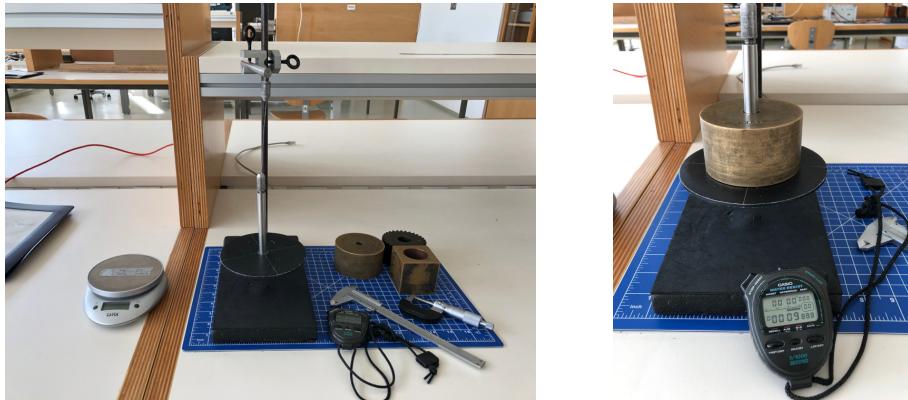


**Slika 20:** Meritve dimenziij merjenca s kljunastim merilom. **A)** premer, **B)** razdalja med luknjicama in **C)** dolžina merjenca. Deklarirana natančnost kljunastega merila je  $\pm 0.02$  mm.

## 9 Torzijsko nihalo z visečo žico - TorNih

### 9.1 Meritev nihajnega časa torzijske nihala

Pri tej nalogi želimo na podlagi izmerjenih nihajnih časov torzijskega nihala z visečo žico za različne uteži določiti torzijski koeficient  $D$  žice ter strižni modul  $G$  kovine iz katere je žica. Primerjati želimo tudi izračunan vztrajnostni moment uteži (kvader z valjasto odprtino) z eksperimentalno določenim. Postavitev eksperimenta vidimo na sliki (21) levo. Na vpeto žico pritrdimo ploščo na katero lahko izmenično postavimo uteži ter izmerimo nihajne čase, slika (21) desno.



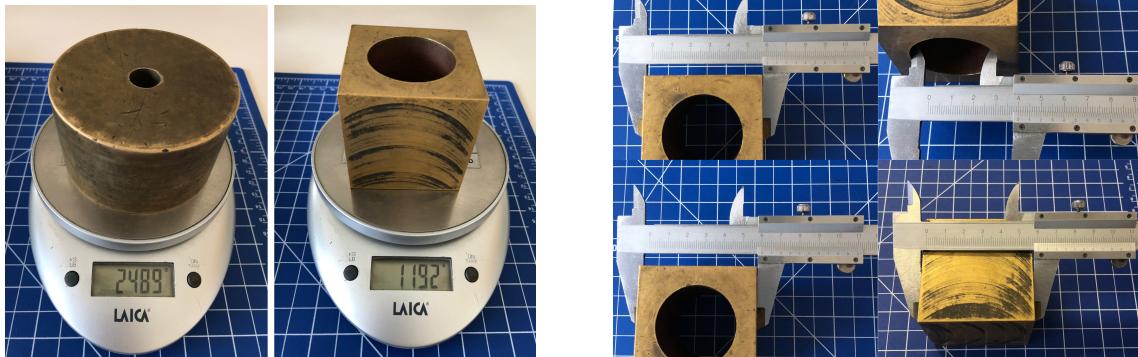
**Slika 21:** Postavitev eksperimenta torzijskega nihala z visečo žico (levo) ter primer meritve nihajnega časa nihala z valjasto utežjo (desno).

Za vsako postavitev (prazna plošča, valj in kvader) izmerimo čas 10 nihajev, meritev ponovimo štirikrat. Meritve so zbrane v tabeli (10).

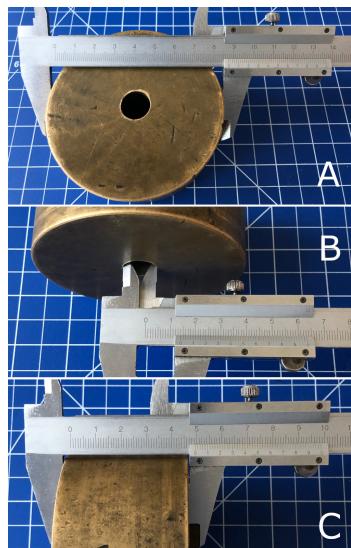
	meritev (s)		
	prazna plošča	kvader	valj
$t_1$	20.820	40.423	58.940
$t_2$	20.966	40.625	58.963
$t_3$	20.896	40.648	58.880
$t_4$	21.089	40.453	59.023

**Tabela 10:** Izmerjeni nihajni časi 10 nihajev (v sekundah) za različno obteženo torzijsko nihalo.

Poleg nihajnih časov izmerimo tudi premer žice  $2r = (0.50 \pm 0.01)$  mm ter njeno dolžino med obema točkama vpetja  $l = (12.2 \pm 0.2)$  cm. Izmeriti moramo tudi geometrijske lastnosti obeh uteži ter njuni masi, slika (22) in slika (23).



**Slika 22:** Meritev mase obeh uteži (levo) ter dimenzijs kvadra z valjasto odprtino (desno).



**Slika 23:** Dimenzijs valjaste uteži: **A)** zunanji premer, **B)** notranji premer ter **C)** višina.

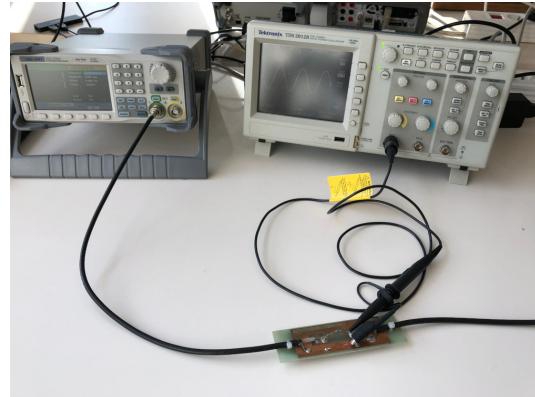
## 10 Lastnosti transmisijske linije - TrLin

### 10.1 Meritev amplitude napetosti v odvisnosti od frekvence signala

Najprej preverimo kakšna je odvisnost amplitude napetosti od frekvence signala v točki A, torej pred  $1100\Omega$  uporom. Meritev se izvede avtomačno s pomočjo programa, kjer navedemo frekvenčno območje ter velikost koraka. Meritev shranimo v datoteko [odziv\\_A.txt](#), kjer prvi stolpec predstavlja nastavljeno frekvenco na funkcijskem generatorju (MHz), drugi stolpec pa izmerjeno frekvenco signala (MHz), tretji stolpec pa izmerjeno RMS amplitudo signala (V).

### 10.2 Meritev amplitude napetosti na začetku koaksialnega kabla

Sedaj prestavimo sondko na točko B, torej neposredno za upor, slika (24) desno. Merimo torej odvisnost amplitude napetosti na začetku koaksialnega kabla od frekvence signala. Pri tem je kabel na koncu zaključen z različnimi upori, ki jih izberemo s preklopnikom.



**Slika 24:** Postavitev eksperimenta (levo) ter meritev amplitude signala na začetku omsko zaključenega koaksialnega kabla z osciloskopsko sondko.

Odvisnost izmerimo za vsak upor zaključka kabla na širokem frekvenčnem razponu in meritve shranimo v datoteke, ki so zbrane v tabeli (11). Meritve so shranjene na enak način kot prej.

Upornost zaključka ( $\Omega$ )	Ime datoteke
0	<a href="#">odziv_B_000.txt</a>
5	<a href="#">odziv_B_005.txt</a>
10	<a href="#">odziv_B_010.txt</a>
15	<a href="#">odziv_B_015.txt</a>
22	<a href="#">odziv_B_022.txt</a>
33	<a href="#">odziv_B_033.txt</a>

Upornost zaključka ( $\Omega$ )	Ime datoteke
51	<a href="#">odziv_B_051.txt</a>
100	<a href="#">odziv_B_100.txt</a>
215	<a href="#">odziv_B_215.txt</a>
560	<a href="#">odziv_B_560.txt</a>
$\infty$	<a href="#">odziv_B_inf.txt</a>

**Tabela 11:** Izmerjena frekvenčna odvisnost amplitude signala na začetku omsko zaključenega koaksialnega kabla.

## 11 Preslikave z uklonsko lečo - UklLec

### 11.1 Meritev valovne dolžine ultrazvočnega vira

Valovno dolžino izmerimo s pomočjo osciloskopa tako, da za uklonsko lečo brez vstavljenih obročev premikamo detektor v vzdolžni smeri ter štejemo ponovitve signala, na primer maksimuma, v sredini  $x$ -osi osciloskopa. Premik detektorja je enak valovni dolžini, ko se slika signala ponovi (npr. iz maksimuma v maksimum), slika (25). Zapišemo si začetno lego detektorja ( $0.0 \pm 0.5$ ) mm in njegovo končno lego ( $80.5 \pm 0.5$ ) mm po 9 ponovitvah signala.



Slika 25: (levo) Uklonska leča brez vstavljenih obročev. (desno) Detektor ultrazvočnega valovanja.

### 11.2 Meritev amplitude in faze zvočnega valovanja

Sedaj postavimo vse obroče razen prvega z najmanjšim radijem v nosilec in pričnemo z meritvijo amplitude in faze zvočnega valovanja za posamezno Fresnelovo cono, slika (26).



Slika 26: Odprta tretja cona (kolobar) pri meritvi amplitude in faze prepuščenega ultrazvočnega valovanja.

Amplitudo preberemo s pomočjo osciloskopa (vrednost RMS), fazo pa ocenimo glede na premik signala v  $x$ -smeri na osciloskopu glede na signal skozi prvo cono. Ocenujemo torej fazni zamik med valovanjem skozi izbrano cono in valovanjem skozi prvo cono. Meritve so zbrane v datoteki [naloge02\\_amplituda.txt](#), kjer je v prvem stolpcu zapisana odprta cona (ali njihova



kombinacija), v drugem stolpcu izmerjena RMS amplituda (mV) v tretjem stolpcu pa fazna razlika. Za kombinacije odprtih con fazne razlike nismo merili.

### 11.3 Meritev prečnega prereza uklonske slike točkastega vira

Sestavimo liho (sodo) lečo tako, da so odprte le lihe (sode) cone, slika (27). Tako dobimo največje ojačanje signala, saj je valovanje skozi vse lihe oz. vse sode cone vedno v fazi.



**Slika 27:** Soda uklonska leča z odprtimi le sodimi conami.

S pomočjo programa na prenosniku zajemamo meritve RMS amplitude pri različnih legah detektorja v prečni smeri glede na os. Meritve RMS napetosti (mV) so zbrane v datoteki [precni\\_prerez.txt](#). Začetna (skrajna) lega detektorja je bila oddaljena  $(11.5 \pm 0.5)$  mm od roba merilnega območja prečne lege detektorja, premik detektorja je bil  $(1.0 \pm 0.5)$  mm.

Po opravljeni meritvi premaknemo detektor v prečni smeri v sredino (tam kjer je največja amplituda signala) in izmerimo še vzdolžni prerez uklonske slike tako, da detektor premikamo vzdolž osi. Zanima nas le vrednost amplitude signala v lokalnih maksimumih, oz. ovojnica signala. Meritve RMS amplitude (mV) so shranjene v datoteki [vzdolzni\\_prerez.txt](#). Začetna lega detektorja je bila pri  $(-83.0 \pm 0.5)$  mm na pripadajoči skali, korak premika detektorja je bil  $(4.5 \pm 0.5)$  mm.

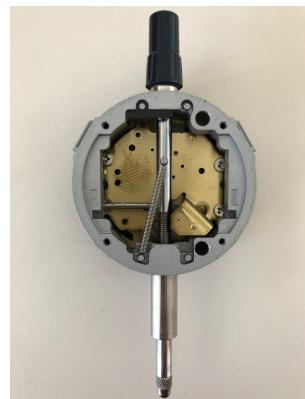
### 11.4 Meritev prečnega prereza uklonske slike izmaknjenega izvora

Meritev prečnega prereza uklonske slike ponovimo še za primer, ko smo izvor v prečni smeri izmaknili iz sredine za  $(3.0 \pm 0.1)$  cm. Meritve so shranjene v datoteki [precni\\_prerez\\_3cm.txt](#) in so bile narejene pri enakih legah kot pri prejšnjem prečnem prerezu.

## 12 Upogib palice - Upogib

### 12.1 Meritev upogiba podprte palice pri točkovni obremenitvi na sredini

Imamo dve palici iz neznanega materiala z različnima presekoma, krožnim ter pravokotnim. Posamezno palico postavimo na nosilec ter jo z dodajanjem uteži obremenjujemo na njeni sredini in hkrati z mikrometrsko uro merimo njen upogib, slika (28). Iz meritev odvisnosti upogiba od obremenitve želimo določiti modul elastičnosti (Youngov modul)  $E$  za obe palici. Meritve za obremenitev in razbremenitev za obe palici so zbrane v datoteki [naloga01\\_upogib.txt](#), kjer je v prvem stolpcu podana obremenitev v enotah skupne mase uteži (g), drugi stolpec so izmerjene lege merilne ure pri obremenitvi palice s pravokotnim presekom, tretji stolpec pa pri njeni razbremenitvi. Četrtni stolpec so izmerjene lege merilne ure pri obremenitvi palice s krožnim presekom, peti stolpec pa pri njeni razbremenitvi. Declarirana natančnost merilne (mirkometerske) ure je  $\pm 0.01$  mm.



**Slika 28:** (levo) Postavitev eksperimenta pri meritvi upogiba palice s točkasto obremenitvijo v njeni sredini. (desno) Notranjost merilne (mikrometrsko) ure.

### 12.2 Vpliv merilne ure in geometrijski podatki

Pri analizi želimo upoštevati tudi vpliv merilne ure na upogib, saj igla merilne ure med meritvijo ves čas pritiska z neko silo na palico.

Dodatno obremenitev ocenimo s pomočjo tehnice tako, da merilno uro spustimo do tehnice in izmerimo obremenitev (v gramih) v odvisnosti od premika igle merilne ure, slika (29). Meritve za različne premike igle so zbrane v datoteki [naloga02\\_vpliv\\_merilne\\_ure.txt](#), kjer je v prvem stolpcu podana lega igle merilne ure (mm), v drugem stolpcu pa izmerjena obremenitev (g).

Razdalja med oporoma nosilca je  $d = (560 \pm 1)$  mm. Ostali geometrijski podatki so zbrani v tabeli (12).



**Slika 29:** Primer meritve obremenitve zaradi merilne (mikrometrsko) ure.

dimenzijske	palica s pravokotnim presekom	palica s krožnim presekom
presek	$a = (7.20 \pm 0.02) \text{ mm}$ $b = (7.08 \pm 0.02) \text{ mm}$	$2R = (7.22 \pm 0.02) \text{ mm}$
dolžina	$(641 \pm 1) \text{ mm}$	$(641 \pm 1) \text{ mm}$
masa	$(261 \pm 1) \text{ g}$	$(208 \pm 1) \text{ g}$

**Tabela 12:** Izmerjene dimenzijske obeh palic.

## 13 Zemeljsko magnetno polje - ZeMaPo

### 13.1 Meritev s kompenzacijo

Pri tej metodi iščemo električni tok  $I$  skozi veliko tuljavo, tako da sta velikosti gostote magnetnega polja tuljave  $B_T$  in zemeljskega magnetnega polja  $B_Z$  enaki. Pri tem pogoju bo rezultanta obeh magnetnih polj kazala v smeri simetrale kota med njima. Tok merimo za različne zasuke  $\delta$  tuljave gleden na smer sever-jug, slika (30).



**Slika 30:** Postavitev eksperimenta pri meritvi s kompenzacijo.



Meritve so zbrane v datoteki [nalog01\\_kompenzacija.txt](#), kjer je v prvem stolpcu zapisan izbrani kot  $\delta$  zasuka tuljave v stopinjah, v drugem stolpcu pa tok  $I$  (mA). Poleg teh meritev moramo še izmeriti geometrijske lastnosti tuljave, tabela (13).

dimenzija	vrednost
dolžina	$(60.0 \pm 0.2)$ cm
premer levo	$(134.18 \pm 0.02)$ mm
premer desno	$(123.32 \pm 0.02)$ mm
število ovojev	60

**Tabela 13:** Dimenziije tuljave.

### 13.2 Gaussova metoda

Pri Gaussovni metodi meritve zemeljskega magnetnega polja uporabimo paličasti magnet z neznanim magnetnim momentom  $p$ . Najprej izmerimo nihajni čas paličastega magneta zaradi navora magnetnega polja. Pri analizi upoštevamo vztrajnostna momenta magneta in plastičnega tulca, v katerega vstavimo magnet med meritvijo, slika (31) levo.

Meritve nihajnih časov 10 nihajev in geometrijske lastnosti magneta ter tulca so zbrane v tabeli (14).

Sedaj postavimo magnet prečno na nosilec, ki smo ga s pomočjo kompasa usmerili v smeri sever-jug. Igla kompasa se bo zasukala za kot  $\varphi$  v odvisnosti od razdalje med kompasom in paličastim magnetom, slika (31) desno. Meritve so zbrane v datoteki [nalog02\\_Gauss.txt](#),



**Slika 31:** (levo) Meritev nihajnega časa paličastega magneta. (desno) Meritev odklona igle v kompasu v odvisnosti od razdalje med kompasom in paličastim magnetom.

nihajni čas (s)	dimenzija	magnet	tulec
19.607	dolžina	(46.38 $\pm$ 0.02) mm	(49.90 $\pm$ 0.02) mm
19.223	zunanji premer	(15.70 $\pm$ 0.02) mm	(19.00 $\pm$ 0.02) mm
19.417	notranji premer	-	(15.78 $\pm$ 0.02) mm
19.185	masa	(33 $\pm$ 1) g	(6 $\pm$ 1) g

**Tabela 14:** (levo) Izmerjeni nihajni časi 10 nihajev paličastega magneta. (desno) Geometrijske lastnosti magneta in plastičnega tulca.

kjer je v prvem stolpcu podana oddaljenost med kompasom in paličastim magnetom (cm, natančnost  $\pm 0.2$  cm), v drugem stolpcu zasuk igle kompasa v stopinjah od smeri sever-jug, v tretjem stolpcu pa zasuk igle, ko smo paličasti magnet zasukali za  $180^\circ$ . Nedoločenost meritve kota zasuka ocenimo na  $\pm 1^\circ$ .