



ELEKTROTEHNIŠKO-RAČUNALNIŠKA
STROKOVNA ŠOLA IN GIMNAZIJA
LJUBLJANA

Vegova ulica 4, 1000 Ljubljana

Poročila vaj pri predmetu fizika

Poročila maturitetnih vaj

Mentor: Tomo Omahna, prof.

Avtor: Jaka Kovač, G 4. b

Ljubljana, oktober 2023 – marec 2024

Povzetek

V tem delu bom predstavil kako sem izvedel maturitene vaje, njihove rezultate. Ob vsaki vaji sem preverjal veljavnost meritev s teoretično izračunanimi vrednostmi.

Ključne besede: poročila maturitetnih vaj - fizika, fizika za srednjo šolo

Kazalo

1	Lastno nihanje vzmetnega nihala	5
2	Prosti pad	7
3	Odbojnost	10
4	Boylov zakon	11
5	Atwoodovo padalo	12
6	Dušeno nihanje v električnem krogu	13
7	Gostota zemljinega električnega polja	15
8	Merjenje goriščne razdalje leč	17
9	Plinski emisijski spektri	20
10	Viri in literatura	22

Slike

1	Posnetek zaslona osciloskopa z meritvami časa pozameznega iznihaja	14
2	Trikotnik magnetnih polj	15
3	Zbiralna leča	17
4	Razpršilna leča	18
5	Sestavljena leča	18
6	Emisijski spekter helija	20

O zapisu meritev

Prikazane številčne vrednosti so zaokrožene na 3 od 0 različna decimalna mesta (znanstven zapis). V izračunih se uporablja dejanska vrednost. Kjer ni drugače navedeno je vrednost podana na $\pm 0,5$ enot na zadnjem prikazanem mestu. Primer: $s = 10,0 \text{ m} = 10,0 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$

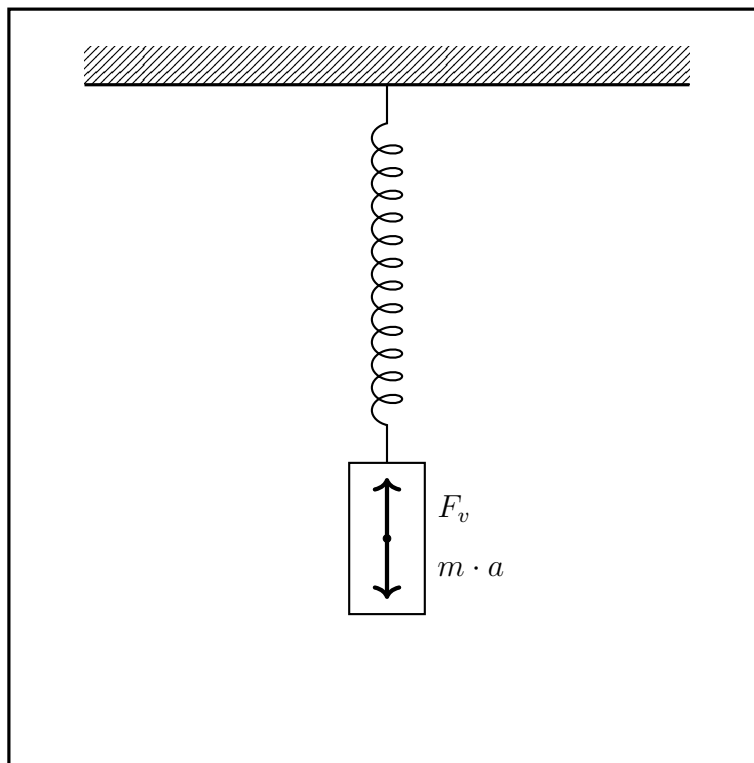
1 Lastno nihanje vzmetnega nihala

— NOT DONE

Opis vaje in teoritična podlaga

Nihanje količine x lahko zapišemo z enačbo nihanja

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0. \quad (1)$$



V našem primeru želimo preveriti sinusno nihanje vzmetnega nihala. Hookov zakon pravi, da je $F_v = -ks$, po II. Newtonovem zakonu pa lahko zapišemo

$$F_v = ma = -ks = m \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (2)$$

Rešitev dane diferencialne enačbe je

$$x(t) = x_{max} \sin(\omega t + \varphi); \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \wedge \varphi = \arcsin\left(\frac{x(0)}{x_{max}}\right). \quad (3)$$

Uporabljeni pripomočki

Grafi, ipd.

Analiza rezultatov

2 Prosti pad

Opis vaje in teoritična podlaga

Na Zemlji vsa telesa v prostem padu pospešujejo z $a = g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Ta pospešek lahko izračunamo iz splošnega gravitacijskega zakona:

$$\begin{aligned} F &= G \frac{mM}{r^2}; G = 6,67408 \pm 0,00031 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \\ am &= G \frac{mM}{r^2} \\ g &= G \frac{M_{\text{Zemlje}}}{r_{\text{Zemlje}}^2} \end{aligned} \quad (4)$$
$$\begin{aligned} g &\approx 6,67408(1 \pm 4,64 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,972168(1 \pm 8,37 \cdot 10^{-8}) \cdot 10^{24} \text{kg}}{(6,3710(1 \pm 7,68 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^6 \text{m})^2} \\ g &\approx 9,826(1 \pm 6,18 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx (9,826 \pm 0,000608) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad [7] \end{aligned}$$

Vrednost pa lahko izmerimo tudi eksperimentalno. S senzorjem ¹ lahko izmerimo prepotovano pot (prosto) padajočega telesa iz česa pa lahko izračunamo hitrost telesa in njegov pospešek.

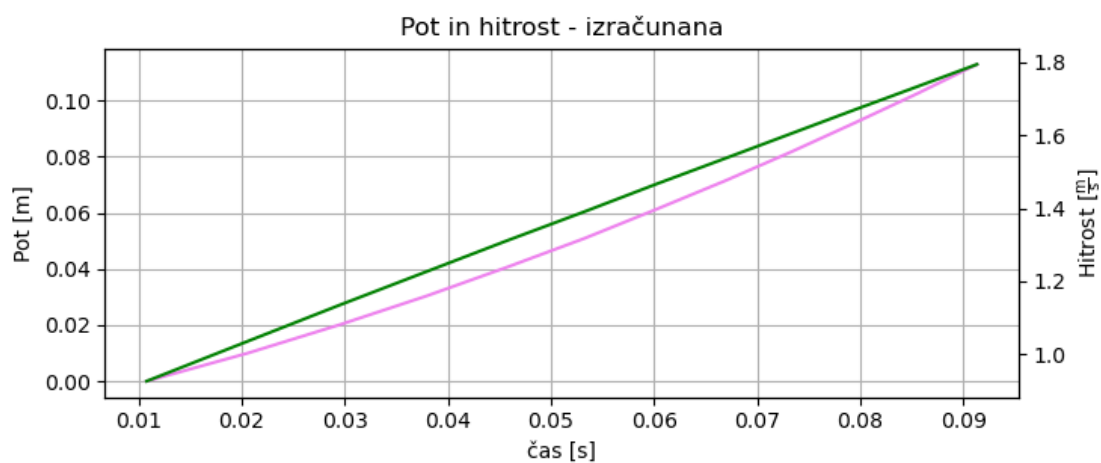
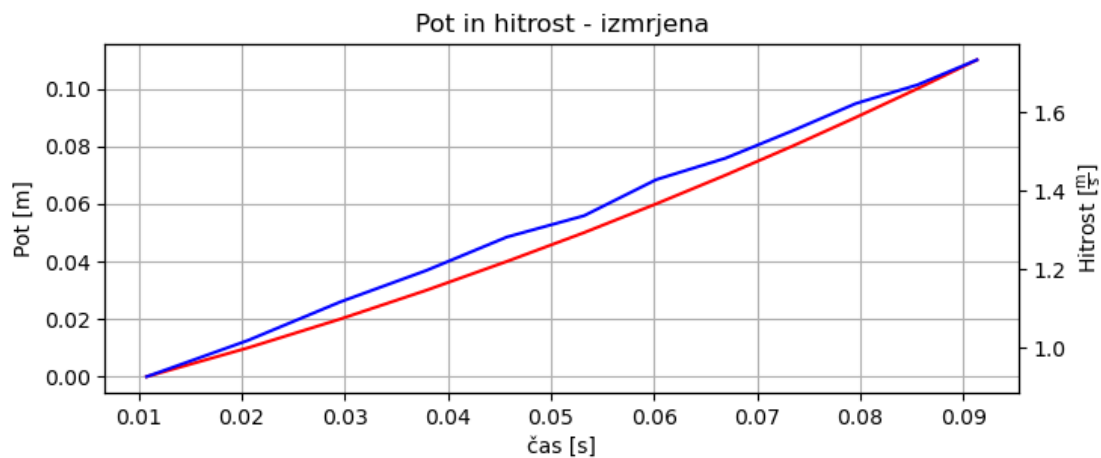
$$\begin{aligned} s(t) &\text{ — pot v odvisnosti od časa} \\ v(t) &= \frac{ds}{dt} \\ a(t) &= \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \end{aligned} \quad (5)$$

Uporabljeni pripomočki

Verinier-jev vmesnik, fotovrata, merilna letev z razmakom 1 cm med oznakami

¹fotovrata

Grafi in izpis vrednost



t [s]	s [m]	v [$\frac{m}{s}$]	a [$\frac{m}{s^2}$]	s_i [m]	v_i [$\frac{m}{s}$]
0,010797	0	0,92618320	9,40661859	0	0,92618320
0,020615	0,01	1,01853738	10,96116178	0,01000000	1,03578499
0,02957	0,02	1,11669458	9,59826534	0,02016934	1,13544882
0,037925	0,03	1,19688809	10,91835783	0,03033728	1,22635222
0,045725	0,04	1,28205128	7,25793658	0,04058345	1,31116494
0,053208	0,05	1,33636242	13,14168756	0,05081054	1,39034378
0,060209	0,06	1,42836738	8,13883399	0,06121448	1,46630471
0,066951	0,07	1,48323939	10,76145884	0,07148008	1,53737279
0,073392	0,08	1,55255395	11,31882147	0,08184505	1,60581174
0,079556	0,09	1,62232317	7,96317857	0,09218808	1,67119519
0,085544	0,10	1,67000668	11,04308426	0,10248933	1,73376677
0,091312	0,11	1,73370319	11,30419690	0,11287113	1,79455176

Povprečni izmerjen pospešek je $\bar{a} = (10,3 \pm 2,2) \frac{m}{s^2} = 10,3(1 \pm 0,21) \frac{m}{s^2}$, kar sem tudi uporabil pri izračunanih vrednostih poti in hitrosti.

Analiza rezultatov

Izmerjena vrednost je za okoli 5 % večja od vrednosti izračunane v enačbi (4). Ugotovil sem, da je napaka meritev tako velika, da je dejanska vrednost znotraj merske napake. Do tako velike napake je verjetno prišlo, saj se je letev med padcem ² premikala tudi bočno, s tem pa prepotovala daljšo pot, kot če bi padala navpišno navzdol.

²spust - ang. "descend"; padec - ang."fall"[11]

3 Odbojnost

Opis vaje in teoritična podlaga

Meritev koeficienta odbojnosti albeda a za različno obarvane podlage. Ker za referenco vzamemo bel papir, koeficient a izračunamo po formuli:

$$a = \frac{E(\textit{obarvan papir})}{E(\textit{bel papir})}, \quad (6)$$

kjer E predstavlja osvetljenost oz. površinsko gostoto svetlobnega toka.

Uporabljeni pripomočki

Mobilni telefon z aplikacijo za meritev osvetljenosti, namizno svetilko, bel in barven papir

Meritve

Analiza rezultatov

4 Boylov zakon

Opis vaje in teoritična podlaga

Za idealni plin velja splošna plinska enačba:

$$PV = nRT, \quad (7)$$

kjer je P tlak plina, V njegov volumen, $n = \frac{m}{M}$ količina snovi (v molih), $R = 8,314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$.³ Ko enačbo preuredimo, in upoštevamo, da količine plina v zaprtem postoru ne speminjamo (ohrani se n), lahko zapišemo:

$$\frac{PV}{T} = \text{konst.} \quad (8)$$

Če plin ohranja temperaturo (sprememba je izotermna) dobimo Boylov zakon.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (9)$$

Uporabljeni pripomočki

Brizga, Verinierjev vmesnik in senzor tlaka

Grafi, ipd.

Analiza rezultatov

³Plinska konstanta R je definirana kot produkt Avogadrovega števila N_A in Boltzmanove konstante k_B . Vrednosti obeh sta bili z letom 2019 točno določeni, zato lahko izračunamo tudi točno vrednost R [6]

5 Atwoodovo padalo

Opis vaje in teoritična podlaga

Uporabljeni pripomočki

Grafi, ipd.

Analiza rezultatov

6 Dušeno nihanje v električnem krogu

Opis vaje in teoritična podlaga

Cilj vaje je izračunati koeficient dušenja β v dušemen električnem nihajnem krogu. Začnimo z enačbo dušenega nihanja [9]

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0. \quad (10)$$

V danem nihanjem krogu lahko z II. Kirchoffovim zakonom zapišemo

$$U - L \frac{dI}{dt} - RI = 0. \quad (11)$$

Tok v vezju lahko izračunamo z

$$I = -\frac{de}{dt} = -\frac{d(CU)}{dt} = -C \frac{dU}{dt}, \quad (12)$$

ko tok vstavimo v enačbo 11 dobimo

$$\begin{aligned} U + LC \frac{d^2U}{dt^2} + RC \frac{dU}{dt} &= 0 \\ LC \frac{d^2U}{dt^2} + RC \frac{dU}{dt} + U &= 0, \end{aligned} \quad (13)$$

če enačbo delimo z LC pri tem pa upoštevamo $LC = \frac{1}{\omega_0^2}$ lahko zapišemo

$$\frac{d^2U}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 U = 0 \quad (14)$$

iz česar sledi, da je $x = U$ in $2\beta = \frac{R}{L}$ v enačbi dušenega nihanja. Zapišemo lahko [5]

$$U = e^{-\beta t} [A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t)] \quad (15)$$

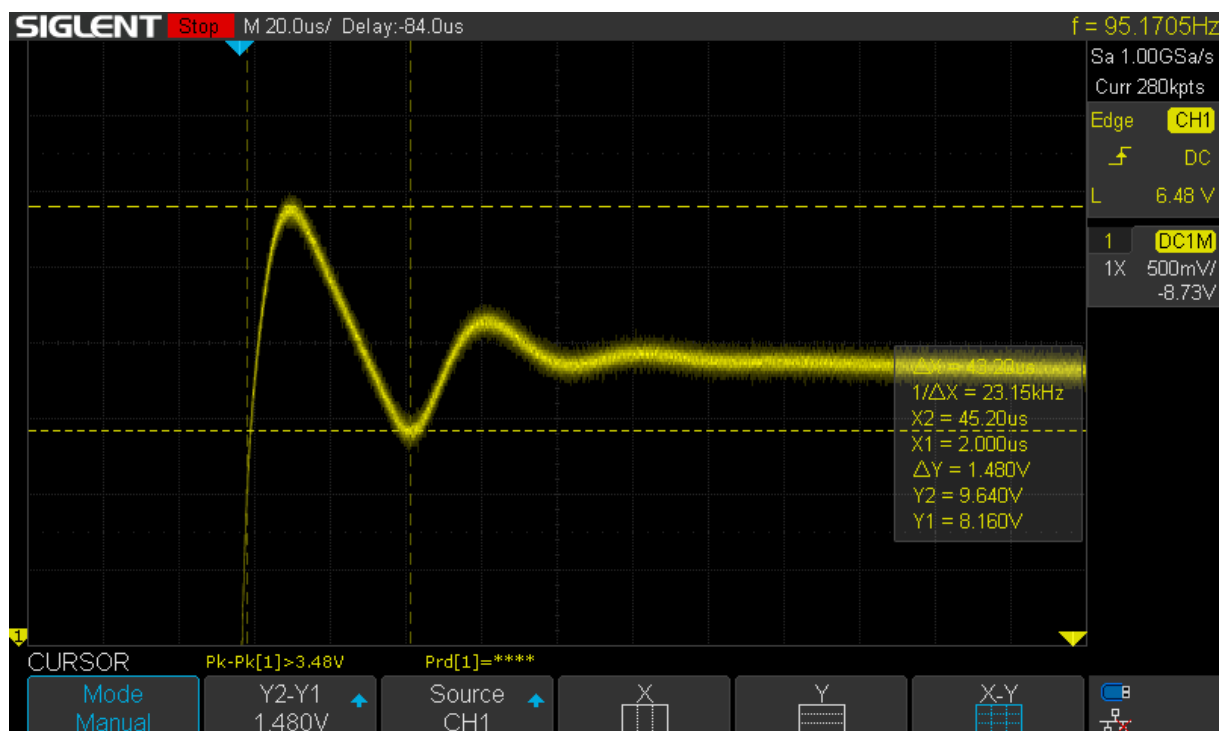
kjer je $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ in $\beta = \frac{R}{2L}$. Ker poznamo začetne pogoje $(\frac{dU}{dt})_0 = -\frac{I_0}{C}$ in $U_0 = I_0 R$ lahko zapišemo končno enačbo za napetost

$$U = U_0 \cdot e^{-\beta t} \sin(\omega t). \quad (16)$$

Uporabljeni pripomočki

Digitalni osciloskop, nihajni krog z elektrosnikim stikalom, ŠMI z žicami

Posnetek zaslona osciloskopa



Slika 1: Posnetek zaslona osciloskopa z meritvami časa pozameznega iznihaja

Analiza rezultatov

Za (maksimalno) napetost vsakega pulza lahko zapišemo enačbo

$$U_N = U_0 e^{-\beta((N-1)t_0 + t_z)},^4 \quad (17)$$

ker govorimo o maksimalni napetosti upoštevamo, da je $\sin(\omega t) = 1$. β lahko izrazimo takole

$$\ln\left(\frac{U_1}{U_N}\right) = \beta(N-1)t_0$$

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{U_1}{U_N}\right)}{(N-1)t_0}. \quad (18)$$

N	U_n [V]	$(N-1)t_0$ [μ s]	β [10^3 s $^{-1}$]
1	9,64	0	N/A
2	8,93	51,6	1,48
3	8,71	92,8	1,09

Z aritmetično sredino izračunamo $\bar{\beta} = 1,29 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1} \pm 0,2 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$

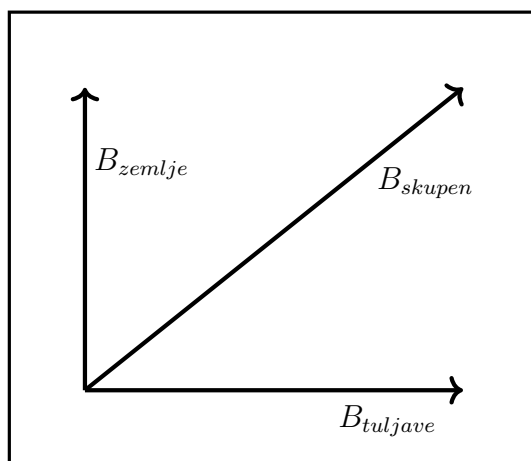
⁴Za U_1 zapišemo $U_1 = U_0 e^{-\beta t_z}$

7 Gostota zemljinega električnega polja

Opis vaje in teoritična podlaga

Zemljino magnetno polje deluje na podoben način kot magneti, ki jih poznamo iz vsakdanjega življenja, le da na veliko večjem obsegu. Ko elektroni tečejo skozi žico, ustvarijo magnetno polje okoli nje. Ta pojav je prisoten tudi na atomskem nivoju, kjer elektroni krožijo okoli atomov ustvarjajoč majhne tokove in s tem majhna magnetna polja. V nekaterih atomih, kot so atomi železa, se ta majhna magnetna polja seštevajo in tvorijo močnejše magnetno polje. Ta princip je razširljiv vse do obsega Zemlje, kjer gibanje tekočega železa v zunanjem jedru, segretem s strani (vročega) notranjega jedra, ustvarja konvekcijske tokove. Ti tokovi, skupaj z učinkom Coriolisove sile, ki je posledica vrtenja Zemlje, povzročajo, da se tekoče kovinske mase vrtničijo in ustvarjajo velikansko elektromagnetno polje, ki obdaja naš planet.

Kompas nam pokaže smer "silnic"⁵ magnetnega polja, to "funkcijo" lahko izrabimo za izračun moči magnetnega polja Zemlje. Če s tuljavo ustvarimo magnetno polje, ki je pravokotno na zemljino lahko s kompasom določimo, kdaj sta magnetno polje Zemlje in tuljave enaka.



Slika 2: Trikotnik magnetnih polj

Ker kompas kaže (φ_k) v smer skupnega magnetnega polja ($\vec{B}_{skupen} = \vec{B}_{zemlje} + \vec{B}_{tuljave}$), lahko zapišemo

$$\tan(\varphi_k) = \frac{B_{tuljave}}{B_{zemlje}}. \quad (19)$$

Če s tuljavo ustvarimo magnetno polje, ki je po velikosti enako Zemljinemu magnetnemu polju, bo $\tan(\varphi_k) = 1 \Rightarrow \varphi_k = \arctan(1) = 45^\circ$.

Uporabljeni pripomočki

Dve tuljavi ($r_{sr} = 7\text{cm}$), kompas, upor ($R = 1\text{ k}\Omega$), ŠMI z žicami in ampermeter

⁵Kompas se sicer usmeri v smer magnetnega polja, magnetna sila deluje pravokotno na smer magnetnega polja, za lažjo razlago bom tu napačno uporabil izraz silnice, ki sicer pomeni smer delovanja sile

Tabela meritev

I [mA]	φ [°]	B_{Helm} [μ T]	B_{zeml} [μ T]	ΔB_{zeml} [μ T]
0,00	0,00	0,00		
1,65	25,00	19,01	40,76	13,58
2,30	30,00	26,50	45,89	8,45
3,77	42,00	43,43	48,23	6,11
5,80	53,00	66,82	50,35	3,99
7,59	58,00	87,44	54,64	0,30
8,00	60,00	92,16	53,21	1,13
9,57	62,00	110,25	58,62	4,28
19,80	70,00	228,10	83,02	28,68

Tabela 1: Tabela meritev zemljinega magnetnega polja

Analiza rezultatov

Ker smo uporabili Helmholtzovo tuljavo, bomo $B_{tuljave}$ označili z B_{Helm} , ker poznamo dolžino tuljave in število ovojjev, lahko izračunamo magnetno polje, ki jo ustvari

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l}. \quad (20)$$

Izračunana vrednot magnetnega polja Zemlje je $B = 54,3 \cdot 10^{-6} \text{ T}(1 \pm 0,09)$, kar je le 12 % več od vrednosti, ki sem jo našel na internetu [4] ($B = 48,3 \mu\text{T}$)⁶

⁶Vrednost za Ljubljano, 15. 11. 2023

8 Merjenje goriščne razdalje leč

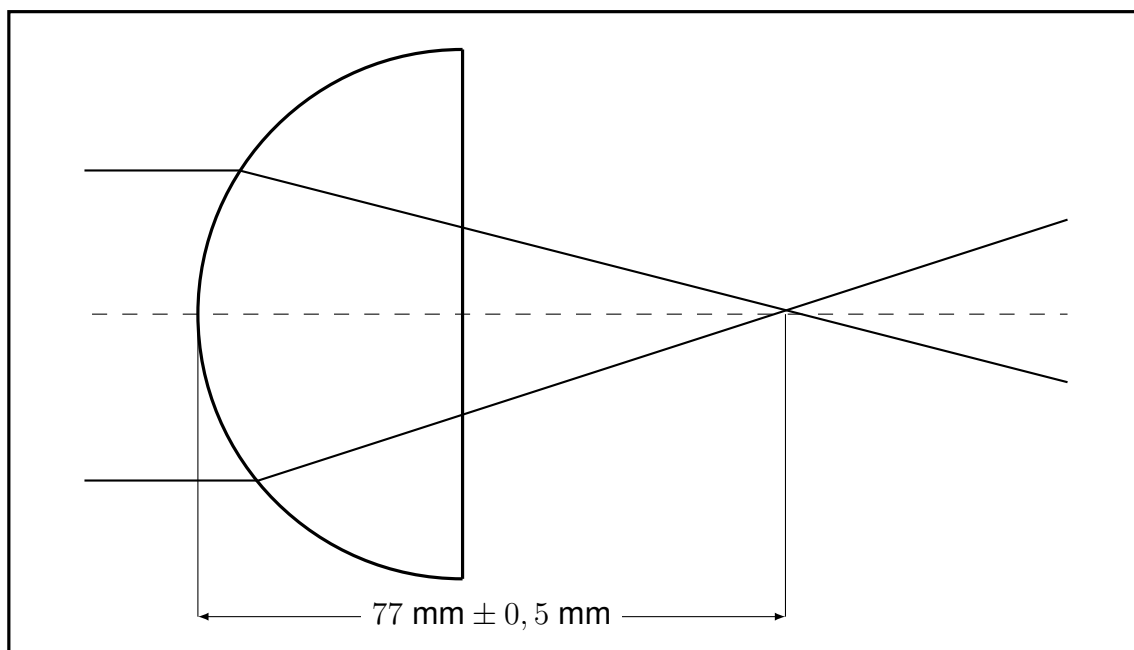
Opis vaje in teoretična podlaga

Vaja zajema merjenje goriščne razdalje konveksne (zbiralne), konkavne (razpršilne) in stavljene leče. Formula za izračun goriščne razdalje leče je $f = 2R$, kjer je f goriščna razdalja, R pa polmer leče ali zrcala. Goriščna razdalja sestavljene leče (dve zaporedni leči) se izračuna z $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2}$ [8], kjer sta f_1 in f_2 goriščni razdalji sestavnih leč, d pa razdalja med njima.

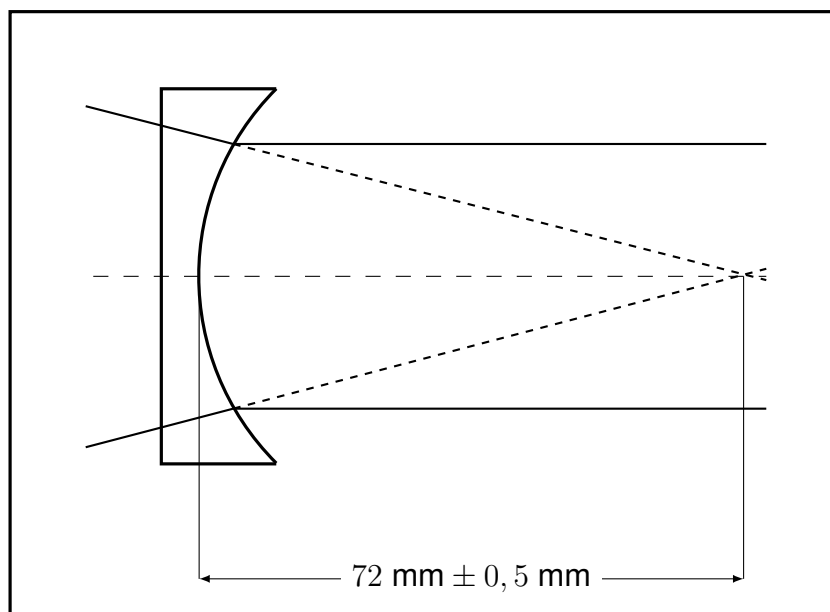
Uporabljeni pripomočki

Svetilka v ohišju z režami, ŠMI z žicami, milimeterski papir, svinčnik, geotrikotnik, konveksna in konkavna leča ($R = 35$ mm za obe leči)

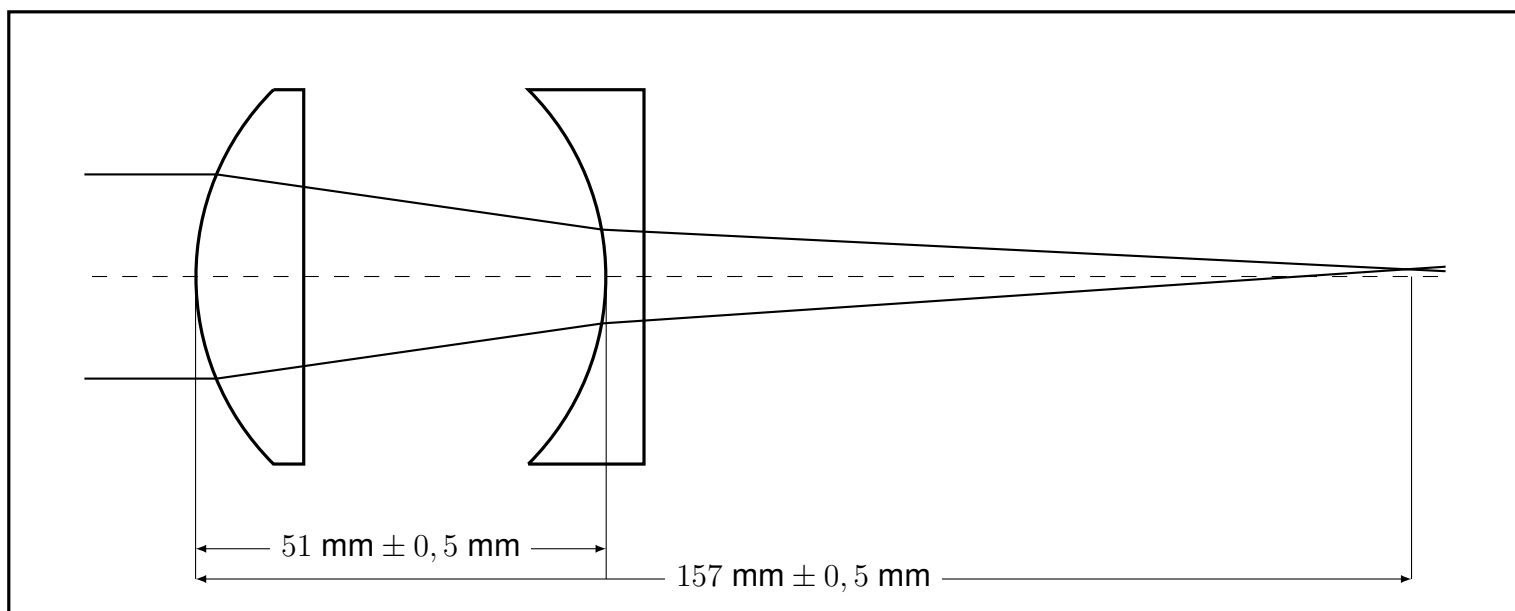
Skice



Slika 3: Zbiralna leča



Slika 4: Razpršilna leča



Slika 5: Sestavljena leča

Analiza rezultatov

Izmerjena goriščna razdalja konveksne leče je $f = 77 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, izračunana razdalja pa je

$$f = 2R = 2 \cdot 35 \text{ mm} = 70 \text{ mm} \quad (21)$$

Za konkavno lečo pa sem izmeril goriščno razdaljo $f = 72 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, izračunana goriščna razdalja je

$$f = -2R = -2 \cdot 35 \text{ mm} = -70 \text{ mm} \quad (22)$$

Pri sestavljeni lečo sem izmeril goriščno razdaljo $f = 157 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, izračunal pa sem

$$\begin{aligned}\frac{1}{f} &= \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2} \\ f &= \left(\frac{1}{-70 \text{ mm}} + \frac{1}{70 \text{ mm}} - \frac{51 \text{ mm}}{-70 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}} \right)^{-1} \\ f &= 102 \text{ mm}\end{aligned}\tag{23}$$

če za izračun uporabimo izmerjene vrednosti dobimo, da je goriščna razdalja $f = 120 \text{ mm}$. Kljub vsemu osnovne formule za izračun goriščne razdalje sestavljene leče sam ne morem potrditi.

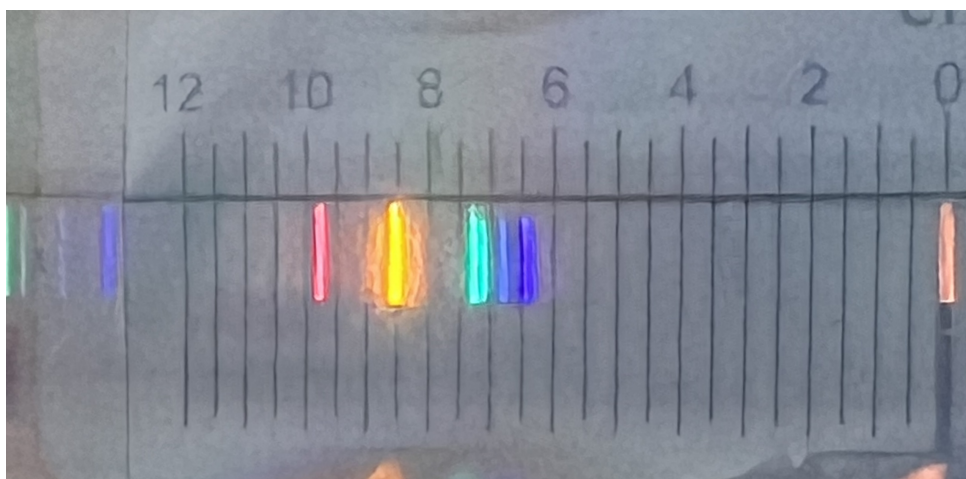
9 Plinski emisijski spektri

Opis vaje in teoritična podlaga

Elektroni lahko prehajajo med večimi energijskimi nivoji. Zaradi potrebe po ohranitvi energije, se pri prehajanju iz višjega energijskega nivoja na nižji nivo sprosti preostanek energije v obliki fotona. Valovna dolžina je odvisna od energije fotona po enačbi $f = \frac{E_f}{h}$, kjer je $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \frac{\text{J}}{\text{Hz}}$ oz. Planck-ova konstanta. Vredno je poudariti, da to ni nek približek, Planck-ova konstanta ima tako kot svetloba hitrost točno vrednost.

The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6,62607015 \cdot 10^{-34}$ when expressed in the unit $\text{J} \cdot \text{s}$, which is equal to $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{\text{C}}$. [6]

Kot je to vidno na fotografiji 6 lahko z uklonsko mrežico svetlobo razvrstimo po njeni valnovni dolžini, ker so v emisijskem spektru prisotne le nekatere valovne dolžine, vidimo samo tiste, ki jih atom lahko oddaja.



Slika 6: Emisijski spekter helija

Uklonski kot fotonov določene valovne dolžile lahko izračunamo z

$$\lambda = \frac{d \sin \beta}{N} \quad (24)$$

kot β pa lahko izračunamo z

$$\beta = \arctan \frac{a}{l} \quad (25)$$

.

Ko združimo obe enačbi, in upoštevamo, da je $N = 1$, saj je dobro viden le prvi red odmikov, $d = 300 \frac{1}{\text{mm}}$ in $l = 40 \text{ cm}$ dobimo enačbo za izračun valovne dolžine:

$$\lambda = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \sin \left(\arctan \left(\frac{a}{40 \text{ cm}} \right) \right) \quad (26)$$

Uporabljeni pripomočki

Spektralne cevi različnih plinov v ohišju z napetostnim virom, uklonska mrežica s 300 črtami/mm

Meritve

Argon

barva	a_l [cm]	a_d [cm]	a [cm]	β [°]	$\lambda_{izmerjena}$ [nm]	λ_{prava} [nm]
vijolična	6,30	6,30	6,30	8,95	466,75	462,54 [3]
zelena	8,30	8,30	8,30	11,72	609,52	613,38 [3]
roza	8,80	8,80	8,80	12,41	644,59	643,51 [3]

Helij

barva	a_l [cm]	a_d [cm]	a [cm]	β [°]	$\lambda_{izmerjena}$ [nm]	λ_{prava} [nm]
vijolična	6,40	/	6,40	9,09	473,97	471,32 [3]
modra	6,80	/	6,80	9,65	502,79	501,57 [3]
cyan	7,30	/	7,30	10,34	538,60	587,56 [3]
oranžna	8,60	/	8,60	12,13	630,59	667,82 [3]
rdeča	9,70	/	9,70	13,63	707,01	706,52 [3]

Analiza rezultatov

Meritve so presenetljivo točne, saj je povprečno relativno odstopanje od pravih vrednosti največ 8 %, povprečno pa 1,5 %.

10 Viri in literatura

- [1] CGPGrey. *The Simple Secret of Runway Digits*, (7. avg. 2022), spletni naslov: <https://www.youtube.com/watch?v=qD6bPNZRRbQ> (dostopano: 24. 2. 2024).
- [2] B. Murovec. *Napotki za pisanje diplomskih nalog in drugih tehničnih besedil*, (2014), spletni naslov: http://lie.fe.uni-lj.si/Napotki_TehnicnaBesedila.pdf (dostopano: 29. 10. 2022).
- [3] NIST. *NIST Atomic Spectra Database Lines Data*, (2024), spletni naslov: https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html (dostopano: 28. 3. 2024).
- [4] NOAA. *Magnetic Field Calculators*, (2024), spletni naslov: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#igrfwmm> (dostopano: 24. 2. 2024).
- [5] R. Snoj, *FIZIKA - Eksperimentalne maturitene vaje djakov G4A, G4B*, Ljubljana: Vegova Ljubljana, 2023.
- [6] sodelavci Wikipedia-je. *2019 redefinition of the SI base units*, (2024), spletni naslov: https://en.wikipedia.org/wiki/2019_redefinition_of_the_SI_base_units (dostopano: 28. 3. 2024).
- [7] sodelavci Wikipedia-je. *Earth*, (2024), spletni naslov: <https://en.wikipedia.org/wiki/Earth> (dostopano: 26. 3. 2024).
- [8] sodelavci Wikipedia-je. *Leča (optika) - Sestavljene leče*, (2024), spletni naslov: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Le%C4%8Da_\(optika\)#Sestavljene_le%C4%8De](https://sl.wikipedia.org/wiki/Le%C4%8Da_(optika)#Sestavljene_le%C4%8De) (dostopano: 17. 2. 2024).
- [9] sodelavci Wikipedia-je. *Nihanje*, (2024), spletni naslov: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Nihanje> (dostopano: 18. 2. 2024).
- [10] sodelavci Wikipedia-je. *Planck constant*, (2024), spletni naslov: https://en.wikipedia.org/wiki/Planck_constant (dostopano: 27. 3. 2024).
- [11] ustvarjalci diffsense.com. *The difference between Descent and Fall*, (2024), spletni naslov: <https://diffsense.com/diff/descent/fall> (dostopano: 26. 3. 2024).

Izjava o avtorstvu

Izjavljam, da je seminarska naloga v celoti moje avtorsko delo, ki sem ga izdelal samostojno s pomočjo navedene literature in pod vodstvom mentorja.

30. marec 2024

Jaka Kovač