

MATURITETNA VAJA – OPTIKA

Tine Golež

Škofijska klasična gimnazija, Ljubljana

Povzetek - Osrednji del članka je navodilo za maturitetno eksperimentalno vajo. Avtor opisno in s slikami predstavi tudi uporabljeno opremo. Zapiše še nekaj komentarjev o samem poteku merjenja, kot ga pri svojih dijakih opazuje že več let. Na koncu doda še primer rezultatov, ki sta jih pri vaji izmerila in preračunala dva dijaka.

Abstract - The article presents the instructions for a matura - lab (a graduating student's lab) experiment. The author describes the equipment used with accompanying photos. As an experienced teacher, he comments on the students' method in carrying out the experiment. To conclude, the results obtained by 2 students, were presented in a lab report.

UVOD

Kje najti navdih za novo eksperimentalno vajo za maturante? Nič ni narobe, če se ozremo v Zbirko maturitetnih nalog, poglavje Merjenje. Seveda je vse skupaj še bolj ustvarjalno, če tam opisani vaji dodamo še kaj več; da na primer izmerimo še kako dodatno fizikalno zakonitost uporabljenih pripomočkov. Sam sem tako pripravil meritev, ki v več ozirih spominja na nalogo številka 23 [1], vendar pa zahteva še nekaj več.

Začnimo kar z navodilom, ki ga v elektronski obliki dobijo dijaki [2]:

ZBIRALNA LEČA

(Tu boš napisal kratek uvod o zbiralni leči, seveda tudi enačbo leče!)

Leča, ki jo bomo uporabili pri meritvi, je razmeroma tanka. Zato bomo uporabili enačbe za tanko lečo. Razdalji a in b merimo tako od sredine leče. Goriščna razdalja tanke leče je povezana z lomnim količnikom snovi, iz katere je leča, ter s polmeroma sfer, katerima se prilaga oblika ploskev leče:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Enačba pove, kako so fizikalne lastnosti leče odvisne od njenih fizičnih lastnosti. (Kolikšne so lahko vrednosti obeh polmerov? Kdaj so negativne?)

NALOGA:

Izmeri goriščno razdaljo leče. Kje se goriščna razdalja skriva v grafu $1/b(1/a)$, ki ga boš tudi narisal? Iz skice izračunaj krivinski polmer sfere, ki se prilega ukrivljeni ploskvi leče. Izračunaj lomni količnik stekla, iz katerega je leča.

POTREBŠČINE:

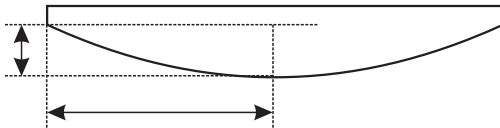
Žarnica, leča na optični klopi, zaslon, meter.

NAVODILO:

Zaslon postavi 4,00 m daleč od žarnice. Postavi lečo na tako razdaljo, da bo na zaslonu nastala ostra povečana (in potem še pomanjšana) slika. Razdaljo med žarnico in zaslonom zmanjšuj po pol metra do razdalje 2,50 m. Po vsakem zmanjšanju razdalje med žarnico in zaslonom poišči obe legi leče, pri katerih je slika žarnice na zaslonu ostra. Vsakič zmeri razdaljo a ter jo vpiši v tabelo.

Poleg postavitve zaslona na pravo mesto moraš izmeriti le 8 razdalj, ki jih vpišeš v drugi stolpec. Vsa ostala polja tabele bodo vsebovala izračunane vrednosti.

$a + b$ [m]	a [m]	b [m]	$1/a$ [m ⁻¹]	$1/b$ [m ⁻¹]	f [m]	n
4,00						
3,50						
3,00						
2,50						



MERITVE IN IZRAČUNI:

ANALIZA MERITVE:

Leča je plankonveksna. Polmer ene ploskve je zato neskončen, polmer druge ploskve pa izračunaj s podatkom p in q . Krajša puščica na sliki je p in daljša q :

$p = 3,0 \text{ mm}$

$q = 41,0 \text{ mm}$

[Konec navodila.]

Seveda dijaki vedo, da morajo to besedilo za poročilo nekoliko razširiti. Poročilo mora biti opisno tako bogato, da lahko nekdo z ustrežno izobrazbo poskus ponovi. Dijak zato sam razmisli, kako naj razširi poročilo, da bo neka zaključena in logična celota.

Najprej si oglejmo nekaj podrobnosti te meritve, na koncu pa še primer poročila. Ožji (prazni) stolpec v tabeli loči izmerjene in izračunane vrednosti; tega dogovora se držimo pri vseh poročilih.

POSTAVITEV POSKUSA, OPREMA

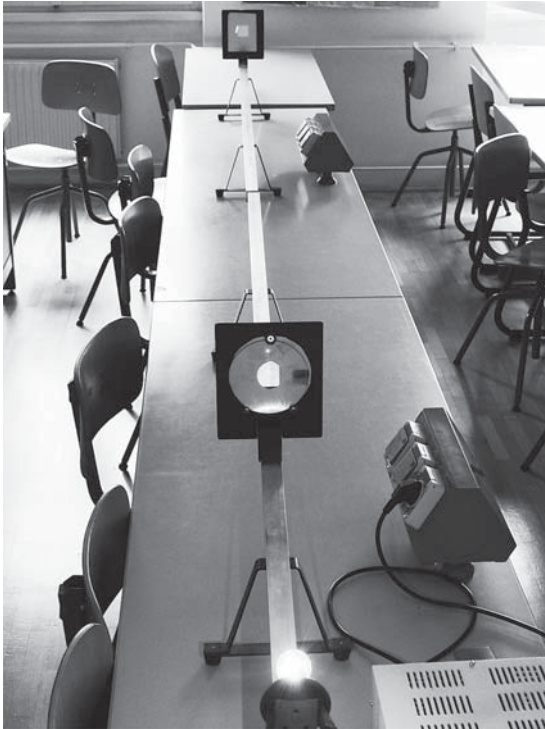
Uporabljamo (najdaljši) dve izmed več optičnih klopi, ki jih je izdelal in šoli podaril univ. dipl. ing. Jožko Battestin. Gre za dve optični klopi, ki sta iz kvadratnega aluminija-stega profila. (Res je, da se da vajo opraviti brez optične klopi, kar s stojali. Najbrž pa dosežemo večjo natančnost prav s profilom. Nakup in izdelava ne bi smela biti prevelik strošek; morda je izdelava celo izziv za dijaka, ki je sicer tehnično spreten, pri fiziki pa se še ni izkazal.) Namenoma bomo uporabljali lečo, ki bo imela goriščno razdaljo večjo od pol metra. Tako bodo razdalje večje in s tem manjša napaka meritve. Ta bi bila večja, če bi uporabljali lečo ($f = 25 \text{ cm}$), kot je opisano v maturitetni nalogi.

Podatek, da gre za tanko lečo, pomeni, da smemo uporabljati enačbo $1/f = 1/a + 1/b$. Razdaljo a merimo od sredine leče. Predmet, ki ga preslikamo na zaslon, je žarilna nitka avtomobilske žarnice. Za lažje merjenje razdalje označimo navpično črto na optični klopi, ki kaže proti žarilni nitki. Razdalja a bo razdalja med to navpično črto in črto, ki je narisana na nosilcu leče. Uporabljamo petmetrski merilni trak, tako da napaka pri merjenju (dijaka morata seveda ustrezno napeti merilni trak) znaša komaj milimeter ali dva. Podobna navpična črta je narisana tudi na nosilcu, na katerem je zaslon (slika 1).



Slika 1. Ker je pod žarilno nitko narisana navpična črta na optični klopi, so meritve razdalje med predmetom in sredino leče zelo natančne. Na nosilcu je leča. Ravnina, ki poteka skozi sredino leče, je podaljšana in narisana kot črta na nosilcu. Leča je le zaradi fotografiranja blizu žarnice, v resnici je vselej vsaj pol metra stran.

Največja razdalja med žarilno nitko in zaslonom je 4 metre. Prav zato zavzame poskus kar velik del učilnice, kar pa pri manjši skupini dijakov ni moteče (slika 2). (Pred leti pa je še tri metre več prostora zahtevalo merjenje hitrosti motnje po gumijasti vrvi [3].)



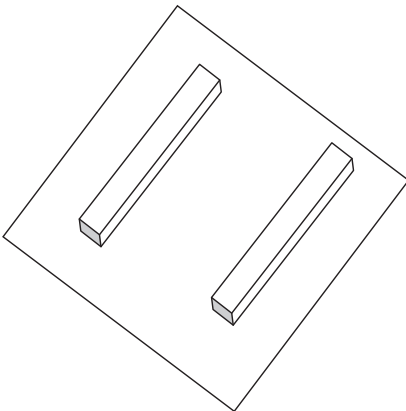
Slika 2. Letos je bil »največji« (prostorsko najbolj obširen) poskus merjenje goriščne razdalje leče in lomnega količnika stekla. Leča trenutno ustvarja povečano sliko žarilne nitke na štiri metre oddaljenem zaslonu. Gre za dve optični klopi, ki stojita ena za drugo. Ko ju uporabljajo dijaki, ju spnemo s spono, da se ne razmakneta.

Pri zaslonu, ki ga postavimo ustrezno daleč od žarilne nitke, stoji en dijak, drugi pa premika lečo. Dijak, ki je pri zaslonu, mu daje navodila za premike in kmalu na zaslonu nastane ostra slika. Gre za povečano sliko. Ko ustvarjata pomanjšano sliko, pa je leča dovolj blizu zaslonu, da isti dijak opazuje sliko in premika lečo. Pri tem je zanimivo, da na zaslonu nastaneta dve sliki žarilne nitke (slika 3). Ko dijake vprašam, kaj je vzrok za to, slišim odgovore, ki zajamejo mnoge (napačne) optične pojave: lom, uklon, interferenca ... no, Dopplerjevega pojava ne omenjajo. Nikomur pa ne pride na misel, da je v igri optični pojav, ki so ga odkrili že v otroštvu. Zgornja slika žičke je slika žičke, ki nastane zaradi odboja od optične klopi. Klop ni črna in je še kar dobro zrcalo. Ko postavimo roko na tisti del optične klopi, kjer pride do odboja, dodatna slika seveda izgine.



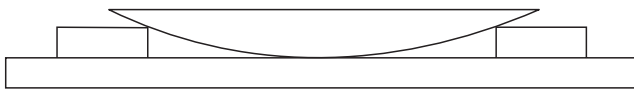
Slika 3. Ko ustvarjamo pomanjšano sliko, nastaneta na zaslonu dve sliki žarilne nitke. Tudi na nosilcu zaslona je narisana navpična črta za natančno merjenje.

Bralce najbrž zanima, kako smo izmerili razdalji p in q , ki sta zapisani v navodilih. Sta v resnici izmerjeni zelo natančno. Na zelo ravno ploskev položimo dva kovinska predmeta v obliki majhnega ploskega kvadra (slika 4).



Slika 4. Dve kovinski, zelo natančno odrezani oglati palici. Debelina (oziroma višina od podlage navzgor) je točno 3,0 mm.

Ko sta palici točno 82 mm oddaljeni in vzporedni, se leča dotika obeh robov in podlage (slika 5).



Slika 5. Leča se dotika obeh robov in podlage. Tako smo izmerili dolžini p in q , ki sta zapisani v navodilu za dijaka.

Da ne bi dijaki preveč vneto merili po tej metodi in pri tem hote ali nehote popraskali lečo, jim je bolje zaupati podatka p in q .

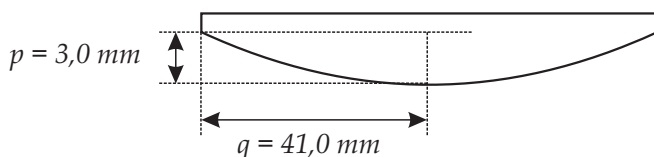
Dijaki uberejo različne poti, da iz skice leče ter podatkov o p in q izračunajo polmer krogle, katere del je ena ploskev leče. Nekateri se naloge lotijo tako, da izberejo tri točke na ravnini xy in poiščejo enačbo krožnice, ki poteka skozi te tri točke. Morda je še bolj enostavna pot tistih, ki si sicer predstavljajo krožnico, a pri tem ne razmišljajo o koordinatah in enačbi krožnice, pač pa uporabijo Pitagorov izrek – kot je to storil dijak v priloženem poročilu.

DIJAKOVO POROČILO

(prva stran je odstranjena, tam je ime dijaka, naslov vaje Ostalo besedilo je nespremenjeno vključno s slovničnimi napakami ...)

Naloga:

Izmeri goriščno razdaljo leče. Iz skice izračunaj krivinski polmer sfere, ki se prilega ukrivljeni ploskvi leče. Izračunaj lomni količnik stekla, iz katerega je leča. Podatka p in q sta podana.



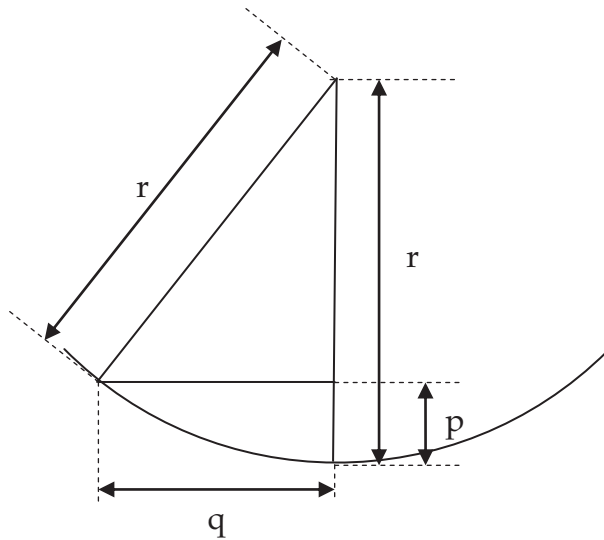
Teoretični uvod:

Leča, ki jo bomo uporabljali pri meritvi, je razmeroma tanka leča. Zato bomo uporabljali enačbo za tanko lečo ($1/f = 1/a + 1/b$) in enačbo, ki vsebuje lomni količnik:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

f – goriščna razdalja

n – lomni količnik



$$p = 3,0 \text{ mm}$$

$$q = 41,0 \text{ mm}$$

$$r^2 = q^2 + (r - p)^2$$

$$r = \frac{q^2 + p^2}{2p}$$

$$r = 282 \text{ mm}$$

Slika 1 – Shema za izračun polmera plankonvexsne leče, če poznamo dolžini p in q .

Opis postavitve:

Na konec optično klopji smo postavili žarnico, na drugi konec 4,00 m stran od žarnice pa zaslon. Med žarnico in zaslon smo postavili plankonvexsno lečo. Vsi trije elementi so bili v isti višini.

Potrebščine:

- Leča
- Zaslon
- Žarnica
- Optična klopj
- Meter

Meritve in izračuni:

	a + b [m]	a [m]	b [m]		1/a [1/m]	1/b [1/m]	f [m]
1	4,00	0,660	3,340		1,5152	0,2994	0,551
2		3,340	0,660		0,2994	1,5152	0,551
3	3,50	0,688	2,812		1,4535	0,3556	0,553
4		2,824	0,676		0,3541	1,4793	0,545
5	3,00	0,713	2,287		1,4025	0,4373	0,544
6		2,394	0,606		0,4177	1,6502	0,484
7	2,50	0,816	1,684		1,2255	0,5938	0,550
8		1,696	0,804		0,5896	1,2438	0,545

Tabela 1 – Meritve in izračun za goriščno razdaljo.

Za goriščno razdaljo bom uporabil $f = (0,548 \pm 0,003)$ m. Rezultat v šesti vrstici bom zanemaril, očitno se je zgodila napaka pri meritvi.

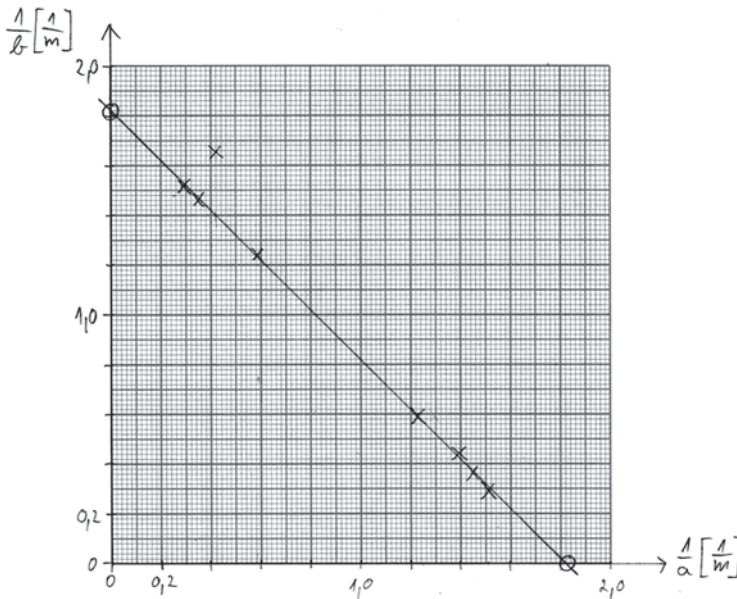
Z izpeljavo, ki smo jo dobili pri Sliki 1, izračunamo polmer plankonveksne leče. Drugi polmer je neskončen.

$$r_1 = \frac{q^2 + p^2}{2p} \quad r_1 = 282 \text{ mm}$$

S spodnjo enačbo izračunamo lomni količnik stekla, iz katerega je sestavljena leča. Ker je leča plankonveksna, pomeni, da je ena stran leče ravna, zato je drugi polmer kar neskončno ($r_2 = \infty$).

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$n = \frac{r_1}{f} + 1 = \frac{282 \text{ mm}}{548 \text{ mm}} + 1 = 1,51 \pm 0,01$$



$$T_1(0 \text{ m}^{-1}; 1,82 \text{ m}^{-1})$$

$$T_2(1,82 \text{ m}^{-1}; 0 \text{ m}^{-1})$$

$$k = -1$$

$$\frac{1}{f} = 1,82 \text{ m}^{-1}$$

$$f = 0,549 \text{ m}$$

Graf 1 – T_1 in T_2 predstavljata kar f^{-1}

Komentar:

Rezultat, ki smo ga dobili za lomni količnik stekla, iz katerega je leča, je dokaj blizu lomnemu količniku navadnega stekla. Pričakujemo, da je ta cenena leča, zares kar iz navadnega stekla.

[Konec dijakovega poročila]

ZAKLJUČEK

Opisana vaja je za dijake zanimiva. Pri sami meritvi se morajo nekoliko sprehajati, saj vaja poteka na večmestnem območju. Poučna je tudi uskladitev, ki je potrebna med obema dijakoma, ko ostrita sliko in merita razdalje. Izziv jima predstavlja tudi inovativno vprašanje o dveh slikah žičke pri pomanjšani sliki (Sta dve sliki tudi pri povečani sliki? Na zaslonu sicer ne ...). Tudi risanje grafa je nekoliko drugačno kot ponavadi. Linearizacija nas privede do premice, ki bi morala imeti smerni koeficient -1 , kar je posebnost med linearizacijami. Tudi to je za dijake kar težko vprašanje, prav tako pomen točke, kjer premica seka eno ali drugo os.

Vprašamo se, ali je dijak napako prav ocenil. Napaka pri merjenju goriščne razdalje je manj kot odstotek. Težko bi pa rekli, kolikšna je napaka pri merjenju p in q . Glede na zapis (število mest) bi lahko rekli, da je vsaj odstotek. Tako je smiselno, da za pravilno ocenjeno napako priznamo zapise od $1,51 \pm 0,01$ pa do $1,51 \pm 0,03$ ali celo $\pm 0,04$. Morda smo še najbliže resnici, če pri takih izmerkih, kot so tu, izberemo $\pm 0,02$ ali $\pm 0,03$.

Res je, da ima vsak učitelj svoj nabor maturitetnih vaj. Smiselno pa je, da ga vsako leto malo spremenimo in/ali dopolnimo. Zato predvidevam, da bi bili bralci veseli še kake predstavitev ne povsem trivialne maturitetne vaje.

LITERATURA

- [1] Babič, V. et al., FIZIKA, Zbirka maturitetnih nalog z rešitvami 1995-2003, Ljubljana, Državni izpitni center, 2004, strani 84-85 in 125-126
- [2] Golež, T., *Navodila za maturitetne eksperimentalne vaje 2012/2013*, rokopis, 2012
- [3] Golež, T. in Kukman, I., *Dve maturitetni eksperimentalni vaji*, Fizika v šoli 12(2006) 1, 25-33

DODATEK

Spregovorimo še nekaj o organizacijskih vidikih. Dijaki se zavedajo, da je po učnem načrtu za fiziko predvidenih 140 ur v četrtem letniku, po šolskem koledarju pa znatno manj. Prav zato so veseli, da te vaje opravljamo po pouku in se tako bolj približamo številu ur, ki nam pripada. Nikoli ni pritožb nad temi popoldanskimi urami.

Med eno popoldansko »seanso«, ki traja 4 šolske ure, opravijo več vaj (letos dva popoldneva po pet vaj). Poleg navodil, ki jih dobijo prej v elektronski obliki in jih natisnejo ter nekoliko preučijo pred samo vajo, dobijo pri vajah še list, na katerega morajo pisati izmerjene količine. Ta list je tudi prva priloga končnega poročila. (Res je, da so nekateri izmerki na priloženem listu zapisani na preveliko število mest. Glavno je, da so v končnem poročilu rezultati pravilno ocenjeni z napako.) Takoj po vajah ga fotokopiram ali fotografiram, tako da je na koncu mogoča kontrola, če so v poročilu res uporabili svoje izmerke.

Dandanes dijaki tudi radi skenirajo grafe, ki so jih prej narisali ročno. Tako v poročilo (elektronska oblika in tisk) vstavijo kar skenirani graf. To jim omogoča lažje predelave in izboljšave poročila. Seveda pa morajo vse te grafe priložiti kot prilogo številka dve.


PRILOGA K POROČILU O LABORATORIJSKIH VAJAH.
FIZIKA, MATURA, 2012/2013

1. vaja: RAVNOVESJE SIL

IME IN PRIIMEK, RAZRED, DATUM

m [g]	φ [°]
0	0
25	9,00
50	17,50
75	25,25
100	32,25
125	38,30
150	43,50
175	48,00
200	52,00

4.č 11.2.2013



2. vaja: MERJENJE IZKORISTKA GRELNIKA ZA VODO

m [kg]	$\Delta T/\Delta t$ [°C/s]
1523	0,2894
1500	0,2787
1547	0,2758

$P = (1935 \pm 5) W$
 $P = (1940 \pm 5) W$
 $P = 1947 W$

9. vaja: GONILNA NAPETOST IN NOTRANJI UPOR

R [Ω]	U [V]	I [A]
100	1,376	0,0138
150	1,592	0,0106
200	1,728	0,0086
250	1,821	0,0073
300	1,888	0,0063
400	1,980	0,0050
500	2,040	0,0041
700	2,113	0,0030
900	2,156	0,0024
1100	2,184	0,0020

$I = \frac{U}{R}$

10. vaja: MERJENJE INDUKCIJSKE KONSTANTE

I [A]	B [T]	μ_0
0,00	0,000	
0,50	0,097	
1,00	0,201	
1,50	0,297	
2,00	0,393	

$N_1 = 114$
 $l = 75,2 \text{ cm}$