

## Nastavni komplet “Optička klupa sa priborom”

Nastavni komplet “Optička klupa sa priborom” je namenjen izvođenju eksperimentalnih (mernih i demonstracionih) vežbi iz oblasti geometrijske i talasne optike.

Osnovu kompleta čine kvalitetna optička klupa sa četiri držača i dva izvora svetlosti: halogena sijalica sa autokolimatorom i poluprovodnički laser.

Svi optički i mehanički elementi su odabrani i izrađeni tako da omogućavaju precizno pozicioniranje što obezbeđuje visoku tačnost pri merenju.

Pomoću kompleta je moguće, pored ostalog, izvesti sledeće merne vežbe:

1. Određivanje žižne daljine sabirnog sočiva.
2. Određivanje žižne daljine rasipnog sočiva i sistema sočiva.
3. Određivanje graničnog ugla totalne refleksije za staklo – vazduh.
4. Određivanje talasne dužine laserske svetlosti pomoću optičke rešetke.
5. Određivanje talasne dužine iz spektra bele svetlosti.

Pored mernih vežbi, moguće je demonstrirati i sledeće oglede:

1. Položaj predmeta i lika kod sabirnog i kombinovanog sočiva.
2. Nedostaci sočiva (sferna i hromatska aberacija, koma).
3. Totalna refleksija.
4. Difrakcija svetlosti na pukotini i optičkoj rešetki.
5. Disperzija svetlosti na prizmi. Spektar bele svetlosti.

Osnovni komplet sadrži sledeće delove:

1. Optička klupa sa fiksnim nosačem
2. Nastavak klupe za ekran
3. Nosač elemenata (3 komada)
4. Izvor svetlosti sa autokolimatorom
5. Poluprovodnički laser  $\lambda \approx 660$  nm
6. Izvor za napajanje halogene lampe (12.6 V AC, 4.5 A) i lasera (3.4 V, 0.1 A stabilizovano)
7. Sabirno sočivo  $f = 12.5$  cm u držaču
8. Rasipno sočivo  $-f = 33.3$  cm u držaču
9. Objektiv  $f = 10$  cm
10. Držač objektiva
11. Prizma  $60^\circ$
12. Optička rešetka  $n = 500$  mm<sup>-1</sup>
13. Horizontalno obrtno postolje
14. Stub – adapter  $\phi = 8$  mm /  $\phi = 4$  mm
15. Držač slajdova za klupu
16. Generator predmeta
17. Pukotina  $d = 0.8$  mm

18. Blenda  $\phi = 25$  mm
19. Ekran
20. Postolje (nezavisno)
21. Zavrtnji M3 (4 komada)
22. Uputstvo za rad

### ***Opis kompleta i kratko uputstvo za rad***

---

**Optička klupa** je izrađena od čelika i aluminijuma, dužine je 75 cm i ima jedan fiksni nosač. Fiksni nosač je učvršćen na levom čelu klupe i na njega se, po pravilu, postavlja halogeni izvor svetlosti ili laser.

Pokretni elementi (sočiva, zaklon, držač slajdova...) se postavljaju na preostala tri nosača i pozicioniraju njihovim pomeranjem duž klupe. Svi optički elementi se postavljaju na držače sa stubom  $\phi = 8$  mm, koji odgovaraju otvorima na nosačima na koje se učvršćuju odgovarajućim zavrtnjima.

**Nastavkom klupe** za ekran, koji se montira na desnom čelu klupe, ukupna dužina se povećava na 105 cm. Na ovaj nastavak se, po pravilu, postavlja samo ekran.

**Izvor svetlosti** sa autokolimatorom sadrži halogenu sijalicu 12 V snage 20 W koja je postavljena na pokretnom držaču u kućištu izvora. Izvor daje dobro kolimisan snop bele svetlosti dovoljnog intenziteta.

Na držač sočiva kolimatora postavljena su dva zavrtnja na koje se, po potrebi, postavljaju **generator predmeta** ili **pukotina**. Držač kolimatora se može obrtati oko horizontalne ose kućišta i tako postaviti u željeni položaj postavljenu pukotinu ili generator predmeta. Generator predmeta je veličine  $P = 20$  mm.

**Izvor za napajanje** halogene lampe sadrži izvor naizmjeničnog napona 12.6 V, 50 W i stabilisani izvor jednosmernog napona 3.4 V, 100 mA za napajanje poluprovodničkog lasera. Izvor je bogato dimenzionisan i, ako je potrebno, omogućava napajanje i snažnijih sijalica. Zaštićen je topljivim osiguračem (12.6 V) i elektronskom zaštitom (3.4 V).

Pri radu je preporučljivo uključiti izvor samo u toku merenja ili posmatranja kako bi se produžio vek halogene sijalice.

**Sabirno sočivo**  $f_1 = 12.5$  cm postavljeno je u masivni držač, kompatibilan sa nosačima elemenata na klupi. Na držaču se, slično držaču sočiva kolimatora, nalaze dva zavrtnja na koja je moguće postaviti **rasipno sočivo**  $-f_2 = 33.3$  cm i formirati **kombinovano sočivo** ekvivalentne žižne daljine  $f_{12} = 20$  cm. Na sabirno ili na kombinovano sočivo, radi otklanjanja aberacija, uvek je dobro postaviti **blendu**  $\phi = 25$  mm tako da je okrenuta izvoru svetlosti.

**Objektiv** je složeni optički sistem u kome su otklonjeni svi nedostaci sočiva. Može se koristiti kao sabirno sočivo (žižna daljina je naznačena na obodu čela objektiva).

**Horizontalno obrtno postolje** se postavlja na nosače korišćenjem stuba – adaptera, što omogućava obrtanje postolja oko vertikalne ose.

**Optička prizma 90°** (nije deo kompleta) se postavlja u središte horizontalnog obrtnog postolja. Ako se na neku od stranica pravougaone prizme izoštri lik pukotine (ili usmeri zrak lasera), on će biti totalno reflektovan pa se može posmatrati na **ekranu**<sup>1</sup>, koji se postavi paralelno sa osom klupe. Ugao pod kojim se prostire reflektovani zrak lako se čita sa graduisane skale obrtnog postolja.

Spektar bele svetlosti dobija se kada se lik pukotine, koja je postavljena na nosač kolimatorskog sočiva izvora svetlosti, fokusira na bočnu stranu optičke prizme **60°**. Ekran se postavlja pored klupe na nezavisno postolje, na strani osnove prizme, u položaj u kome je spektar najbolje vidljiv (vidi primer 5.).

Ako se na mesto horizontalnog obrtnog postolja postavi **optička rešetka** (postavlja se na **držač slajdova za klupu**), spektri prvog i viših redova se dobijaju na ekranu koji se postavlja normalno na osu klupe (vidi primer 6.).

Postavljanjem lasera na položaj izvora svetlosti, a optičke rešetke i ekrana na međusobno rastojanje  $l$ , lako je proveriti osnovni zakon difrakcije na optičkoj rešetki. Za određivanje talasne dužine lasera koristi se izraz:

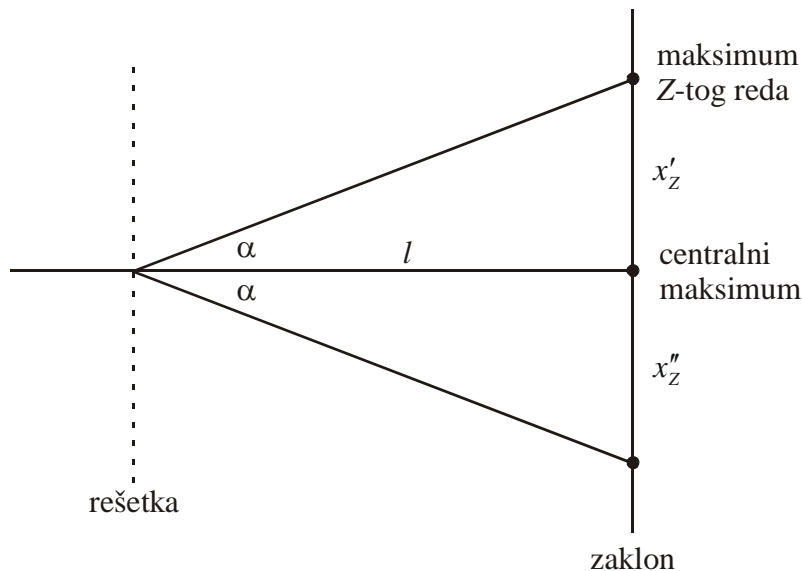
$$Z \cdot \lambda = d \cdot \sin \alpha = d \cdot \frac{x_z}{\sqrt{l^2 + x_z^2}} \quad (1)$$

gde je  $Z$  red difrakcije ( $Z = 1, 2, 3, \dots$ ),  $d$  konstanta optičke rešetke koja za rešetku u kompletu sa  $n = 500 \text{ mm}^{-1}$  iznosi:

$$d = \frac{1}{n} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}, \quad (2)$$

---

<sup>1</sup> Na ekran je potrebno, štikaljkom ili lepljivom trakom, pričvrstiti hartiju (preporučuje se milimetarska) što omogućava dobru vidljivost lika i lako i precizno merenje dimenzija i rastojanja.



sl. 1

$x_Z$  rastojanje maksimuma (svetle tačke) Z-tog reda od centralnog maksimuma, a  $l$  udaljenost rešetke od ekrana (vidi sl. 1).

Preporučujemo da se talasna dužina lasera  $\lambda$  određuje iz difrakcije prvog reda ( $Z = 1$ ) za tri udaljenosti rešetke od ekrana  $l$  i to  $l_1 = 30$  cm,  $l_2 = 20$  cm i  $l_3 = 12.5$  cm. Za sva tri položaja se na ekranu odrede rastojanja  $x_1$ ,  $x_2$  i  $x_3$ , pa se  $\lambda_i$  računa prema jednačini (1). Talasna dužina lasera se dobija kao srednja vrednost izmerenih  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  i  $\lambda_3$ .

Ako se rastojanje  $x_Z$  meri pomoću milimetarske hartije i to kao

$$\bar{x}_Z = \frac{x'_Z + x''_Z}{2},$$

a udaljenost rešetke od ekrana  $l$  mernom trakom ili lenjirom sa milimetarskom podelom, greška pri merenju talasne dužine lasera ne prelazi nekoliko procenata.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Kod rešetke sa velikom moći razlaganja (veliko  $n$ ) skretanje zraka čak i u prvom redu difrakcije je veliko

pa se ne može primeniti uobičajena aproksimacija  $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha = \frac{x_Z}{l}$ .

## ***Neke tipične konfiguracije optičkih elemenata***

### **1. Formiranje lika i određivanje žižne daljine sabirnog sočiva**

- izvor postaviti na fiksni nosač
- generator predmeta postaviti na izvor
- sabirno sočivo sa blendom okrenutom ka izvoru postaviti na nosač
- nosač sa sočivom postaviti na klupu tako da rastojanje sočiva od generatora predmeta bude oko  $p \approx 17$  cm
- ekran, na koji je postavljen list bele ili milimetarske hartije, postaviti na klupu tako da rastojanje sočiva od ekrana bude  $l \approx 48$  cm (tačan položaj se dobija kada je na ekranu lik predmeta oštar)

Na ekranu se dobija jasan lik predmeta uvećan za oko 2.5 puta i obrnut. Iz dobijenih  $p$  i  $l$  izračunati  $f$ .

Postupak ponoviti za  $p \approx 15$  cm i  $l \approx 66$  cm. Pri ovom, klupu treba produžiti koristeći nastavak koji se montira na desno čelo klupe. Na ekranu se dobija lik predmeta uvećan za oko 4 puta. Iz dobijenih  $p$  i  $l$  izračunati  $f$ .

Postupak ponoviti za  $p = l \approx 25$  cm. Na ekranu se dobija lik iste veličine kao i predmet.

Postupak ponoviti za  $p \approx 32$  cm i  $l \approx 22$  cm. Na ekranu se dobija lik predmeta umanjen za oko 1.5 puta. Iz dobijenih  $p$  i  $l$  izračunati  $f$ .

Lik predmeta na ekranu se može podesiti po visini podizanjem ili spuštanjem sočiva. Sabirno sočivo se može zameniti objektivom. Primititi da je lik dobijen pomoću objektiva uvek oštrije i sjajnije nego kad se koristi pojedinačno sočivo. U tom slučaju voditi računa da će gore navedene vrednosti  $l$  i  $p$  biti drugačije zbog drugačije žižne daljine objektiva.

*Kolimatorsko sočivo na čelu izvora se, pri dužem radu, greje što može dovesti do deformacije generatora predmeta. Zbog toga izvor svetlosti treba držati uključen samo u toku podešavanja i merenja. Iz istog razloga se generator predmeta na izvor uvek postavlja tako da je neprovidni disk okrenut od izvora.*

### **2. Formiranje lika i određivanje žižne daljine kombinovanog sočiva**

- izvor postaviti na fiksni nosač
- generator predmeta postaviti na izvor
- formirati kombinovano sočivo spajanjem sabirnog i rasipnog sočiva i postaviti ga na nosač
- blendu postaviti između sabirnog i rasipnog sočiva
- nosač sa sočivom postaviti na šinu tako da rastojanje sočiva od generatora predmeta bude  $p \approx 30$  cm, a ekran tako da rastojanje ekrana od sočiva bude  $l \approx 60$  cm (ekran se postavlja na prethodno montirani nastavak)

Na ekranu se dobija jasan lik predmeta uvećan za oko 2 puta i obrnut. Iz dobijenih  $p$  i  $l$  izračunati  $f_{12}$  kombinovanog sočiva.

Koristeći izmerenu vrednost  $f_{12}$  kombinovanog sočiva i poznatu žižnu daljinu sabirnog sočiva ( $f_1 = 12.5$  cm) odrediti žižnu daljinu rasipnog sočiva  $f_2$ .

### 3. Totalna refleksija

- izvor postaviti na fiksni nosač
- pukotinu postaviti na izvor
- objektiv učvršćen u držaču postaviti na nosač
- pomeranjem objektiva i ekrana, na ekranu izoštriti lik pukotine ( $p \approx 15$  cm;  
 $l \approx 35$  cm)
- na mesto ekrana postaviti obrtno postolje na stubu-adapteru
- prizmu  $90^\circ$  postaviti na obrtno postolje tako da je katetna (kraća) strana prizme okrenuta ka izvoru i normalna na optičku osu
- ekran na nezavisnom postolju postaviti pored klupe naspram druge katetne strane prizme, paralelno sa optičkom osom
- neznatnim pomeranjem objektiva naći položaj u kojem se na ekranu najbolje vidi lik pukotine totalno reflektovan od katetne strane prizme

Ogled je lakše i efektnije izvesti korišćenjem lasera umesto izvora svetlosti. U tom slučaju jasno je da je objektiv nepotreban.

### 4. Prelamanje na planparalelnoj (PP) ploči

- izvor svetlosti, objektiv i ekran postaviti kao u primeru 3. (tačke 1 do 5)
- obrtno postolje postaviti na nosač
- na obrtno postolje postaviti PP ploču tako da je čeonu stranu normalnu na optičku osu klupe
- neznatnim obrtanjem postolja sa PP pločom u odnosu na početni položaj, uočiti da se lik pomera (smiče) u odnosu na početni položaj (udvojeni lik pukotine koji je posledica refleksije unutar PP ploče, eliminiše se ako se na bočne strane ploče

zalepi neprovidna hartija)

Ogled je lakše i efektnije izvesti korišćenjem lasera umesto izvora svetlosti. U tom slučaju jasno je da je objektiv nepotreban.

Merenjem upadnog ugla na lučnoj skali obrtnog postolja (PP ploča se postavi tako da normala na čeonu stranu, sa optičkom osom klupe zaklapa ugao između  $30^\circ$  i  $45^\circ$ ) i merenjem pomeranja lika na ekranu može se proveriti jednačina za prelamanje na PP ploči. Indeks prelamanja stakla PP ploče je  $n = 1.5$ .

### 5. Prelamanje i disperzija na optičkoj prizmi

Izvor svetlosti i objektiv postaviti u položaj kao u primeru 3. (tačke 1-5), a horizontalno obrtno postolje postavljeno na stub-adapter postaviti na nosač umesto ekrana. Prizmu  $60^\circ$  postaviti na sredinu postolja tako da je jedna strana prizme paralelna pravoj OO ugaone skale. Obrtno postolje se, zatim, postavi u položaj da je izabrani pravac OO (i strana prizme) normalan na optičku osu.

Ekran se učvrsti na nezavisno postolje i postavi pored klupe na razdaljini oko 30 cm od prizme tako da normala na ekran zaklapa ugao oko  $45^\circ$  sa optičkom osom klupe. Neznatnim obrtanjem postolja sa prizmom nađe se položaj u kome se na ekranu najbolje vidi spektar bele svetlosti. Spektar se može dodatno izoštriti neznatnim pomeranjem objektiva, obrtnog postolja ili ekrana.

### 6. Difrakcija na optičkoj rešetki

Izvor svetlosti i objektiv postaviti u položaj kao u primeru 3. (tačke 1-5).

Optičku rešetku učvršćenu na držač slajdova postaviti na nosač i pozicionirati na šini između objektiva i ekrana.

Na ekranu se dobija centralni lik pukotine u beloj svetlosti (0-ti red difrakcije) i simetrično sa leve i desne strane u odnosu na centralni lik spektar bele svetlosti (1. red difrakcije). U zamračenoj prostoriji moguće je videti i drugi red difrakcije. Spektar se može dodatno izoštriti neznatnim pomeranjem objektiva ili ekrana.

### 7. Određivanje talasne dužine iz spektra bele svetlosti

Izvor svetlosti, objektiv, rešetku i ekran postaviti kao u primeru 6. Na pukotinu ili ispred rešetke postaviti optički filter (crveni, žuti ili zeleni). Na ekranu će se tada na mestu spektra prvog reda pojaviti samo obojena traka (crvena,

žuta ili zelena) koja odgovara boji svetlosti koju filter propušta. Talasna dužina te svetlosti se određuje postupkom opisanim na stranama 3. i 4.

U nedostatku optičkog filtera može se upotrebiti komad obojenog stakla ili celofan u boji.

### **Напомена**

*Navedeno uputstvo za rad sadrži samo tipične primere koji imaju za cilj da korisnika upoznaju sa karakteristikama uređaja. Očekuje se da će nastavnici, oslonjeni na svoje znanje iz optike, u potpunosti iskoristiti sve mogućnosti ovog nastavnog kompleta, koje daleko prevazilaze navedene primere.*