

Županijsko natjecanje iz fizike

srednja škola – četvrta skupina

25. veljače 2026.

1. Mali predmet postavljen ispred sfernog zrcala daje na zastoru dvaput veću sliku od predmeta. Pomicanjem predmeta i zastora dobije se tri puta veća slika. Zastor je pritom pomaknut za 12 cm. Odredite je li predmet pomaknut prema zrcalu ili od njega, i izračunajte za koliko je pomaknut.

- Budući da se slika stvara na zastoru, riječ je o realnoj slici, što znači da je riječ o konkavnom zrcalu. Kako je slika realna i uvećana, predmet se u oba slučaja mora nalaziti između žarišta i centra zakrivljenosti. Kako bi se povećanje povećalo s dva na tri, zastor treba udaljiti od zrcala. [1 bod]

- Koristimo jednadžbu zrcala:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

i formulu za povećanje:

$$m = \frac{b}{a}$$

- Prije pomicanja imamo povećanje $m_1 = 2$, što znači da je $b_1 = 2a_1$. Uvrštavanjem u jednadžbu zrcala dobivamo:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{2a_1} = \frac{3}{2a_1} \implies a_1 = \frac{3}{2}f \quad \text{i} \quad b_1 = 3f \quad [1 \text{ bod}]$$

- Nakon pomicanja imamo povećanje $m_2 = 3$, što znači da je $b_2 = 3a_2$. Uvrštavanjem u jednadžbu zrcala dobivamo:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a_2} + \frac{1}{3a_2} = \frac{4}{3a_2} \implies a_2 = \frac{4}{3}f \quad \text{i} \quad b_2 = 4f \quad [1 \text{ bod}]$$

- Znamo da je zastor pomaknut za 12 cm dalje od zrcala:

$$b_2 - b_1 = 4f - 3f = d \implies f = d \quad [1 \text{ bod}]$$

Žarišna duljina zrcala iznosi 12 cm. [1 bod]

- Razlika udaljenosti predmeta pomicanjem je:

$$\Delta a = a_1 - a_2 = \frac{3}{2}f - \frac{4}{3}f = \frac{f}{6} \quad [1 \text{ bod}]$$

$$\Delta a = 2 \text{ cm} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Predmet treba približiti za 2 cm prema zrcalu. [1 bod]

2. Koherentni izvor svjetlosti nalazi se na visini $d = 0.1 \text{ cm}$ iznad ravnog zrcala. Nasuprot izvoru postavljen je vertikalni zastor na kojemu se pojavljuje interferencijska slika. Udaljenost zastora od izvora mnogo je veća od visine d . U početnom trenutku izvor se počinje jednoliko udaljavati od ravnine zrcala brzinom $v = 2 \text{ cm/s}$.

(a) Izrazite uvjet za konstruktivnu interferenciju pomoću valne duljine λ , udaljenosti zastora od izvora D , udaljenosti izvora od ravnog zrcala d , rednog broja maksimuma m i pripadne udaljenosti od središnjeg maksimuma y_m .

(b) Nakon koliko se vremena razmak pruga promijeni za faktor 2?

- Zrcalo stvara virtualnu sliku izvora na udaljenosti d s druge strane zrcala. Na zastor tada efektivno djeluju dva izvora na međusobnoj udaljenosti $2d$. Situacija je slična Youngovu pokusu, ali uz bitnu razliku: val iz virtualnog izvora ima dodatni pomak u fazi od π u odnosu na realni izvor, jer se zraka reflektirala na optički gušćem sredstvu. [2 boda]

- Razlika hoda zraka:

$$\Delta x = \frac{2dy_m}{D} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Faznoj razlici treba dodati doprinos zbog refleksije (π):

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x + \pi = \frac{4\pi dy_m}{\lambda D} + \pi \quad [1 \text{ bod}]$$

- Konstruktivna interferencija nastaje tamo gdje je fazna razlika jednaka cjelobrojnom višekratniku od 2π :

$$\frac{4\pi dy_m}{\lambda D} + \pi = 2m\pi \iff \frac{4dy_m}{\lambda D} + 1 = 2m \iff y_m = \frac{\lambda D}{4d}(2m - 1) \quad [1 \text{ bod}]$$

- Širina pruge jednaka je razlici položaja susjednih maksimuma $\Delta y = y_m - y_{m-1}$:

$$\Delta y = \frac{\lambda D}{2d} \quad [1 \text{ bod}]$$

- U situaciji kada se izvor udaljava od zrcala brzinom v , udaljenost $2d$ zamjenjujemo s $2(d + vt)$:

$$\Delta y(t) = \frac{\lambda D}{2(d + vt)} \quad [2 \text{ boda}]$$

- Kako se izvor udaljava od zrcala (d raste), širina pruga se može jedino smanjiti za faktor 2. [1 bod]

- Ako se širina pruga smanji za faktor 2 u vremenu t' , vrijedi:

$$\Delta y(t') = \frac{\Delta y(t_0)}{2} = \frac{\lambda D}{2(d + vt')} \Rightarrow t' = \frac{1}{v} \left(\frac{\lambda D}{\Delta y(t_0)} - d \right) = \frac{d}{v} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Širina se smanji za faktor 2 nakon vremena $t = 50 \text{ ms}$. [1 bod]

3. U Youngovu pokusu koriste se dvije pukotine nejednakih širina. Zbog razlike u širinama, titranje polja koje dolazi iz šire pukotine ima dvostruko veću amplitudu od onoga iz uže. Koherentna svjetlost iz obiju pukotina interferira na zaslonu. Intenzitet svjetlosti u svakoj točki zaslona proporcionalan je kvadratu iznosa rezultantnog vektora električnog polja, koji se dobiva superpozicijom doprinosa iz obiju pukotina. U točkama konstruktivne interferencije mjeri se maksimalni intenzitet iznosa I_m .

- (a) Izvedite izraz za kvadrat rezultantne amplitude A_R^2 u točki s faznom razlikom ϕ pomoću amplituda A_1 , A_2 i fazne razlike ϕ .
- (b) Izvedite izraz za intenzitet I na zaslonu u ovisnosti o maksimalnom intenzitetu I_m i faznoj razlici ϕ .
- (c) Odredite intenzitet na mjestu gdje je fazna razlika $\phi = \pi$. Rezultat iskažite preko I_m .

- Odnos amplituda i maksimalni intenzitet: Neka je $A_2 = A$, tada je $A_1 = 2A$. Maksimalna amplituda je:

$$A_{max} = A_1 + A_2 = 3A \quad [1 \text{ bod}]$$

- Budući da je intenzitet proporcionalan kvadratu amplitude ($I = kA^2$), slijedi:

$$I_m = k(3A)^2 = 9kA^2 \implies kA^2 = \frac{I_m}{9} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Pretpostavimo da u nekoj točki na zaslonu interferiraju dva vala:

$$- \text{Prvi val: } E_1 = A_1 \sin(\omega t)$$

$$- \text{Drugi val: } E_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi) \text{ (gdje je } \phi \text{ fazna razlika)}$$

- Rezultantno polje je njihov zbroj: $E_R = E_1 + E_2$. [1 bod]
- Taj zbroj možemo prikazati kao zbrajanje dva vektora $\vec{A}_1$ i $\vec{A}_2$ koji zatvaraju kut ϕ . [1 bod]
- Prema geometrijskom pravilu za zbrajanje vektora:

$$A_R^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 \cos(180^\circ - \phi) \quad [1 \text{ bod}]$$

- Kvadrat rezultantne amplitude za fazu ϕ :

$$A_R^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \phi$$

Uvrštavanjem $A_1 = 2A$ i $A_2 = A$:

$$I = k(4A^2 + A^2 + 4A^2 \cos \phi) = kA^2(5 + 4 \cos \phi) \quad [1 \text{ bod}]$$

- Uvrštavanjem $kA^2 = I_m/9$:

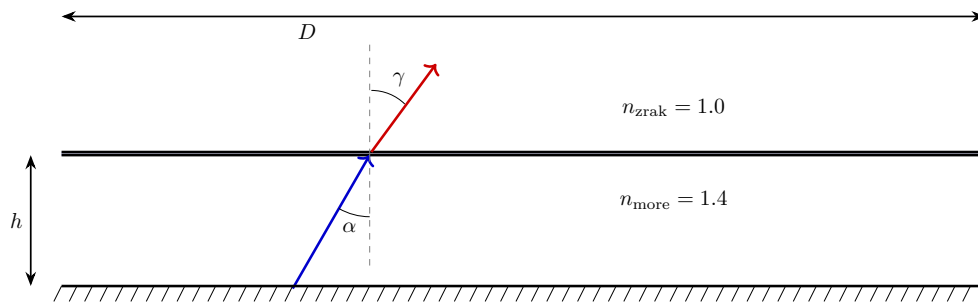
$$I = \frac{I_m}{9}(5 + 4 \cos \phi) \quad [2 \text{ boda}]$$

- Intenzitet za $\phi = \pi$:

$$I = \frac{I_m}{9}(5 - 4) = \frac{1}{9}I_m \quad [1 \text{ bod}]$$

Primijetite da intenzitet u "minimumu" nije nula jer se amplitude ne poništavaju potpuno.

4. Na dnu brodice napravljen je okrugli stakleni prozorčić za promatranje morskog dna. Promjer prozorčića jednak je $D = 40$ cm, a debljina stakla je zanemariva. Izračunajte maksimalnu površinu dna koja se vidi kroz prozorčić. Indeks loma morske vode je 1.4, a dno je udaljeno od prozorčića $h = 5$ m.



- Svjetlost s dna lomi se na granici more–zrak te dolazi do oka promatrača. Prema Snellovom zakonu vrijedi:

$$n_w \sin \alpha = n_z \sin \gamma \quad [1 \text{ bod}]$$

- Osoba može vidjeti samo one zrake koje uspiju izaći iz mora u zrak. Granični slučaj nastaje kada zraka u zrak izlazi pod kutom $\gamma = 90^\circ$ (totalna refleksija).

$$n_w \sin \alpha_{max} = 1 \implies \sin \alpha_{max} = \frac{1}{n_w} \quad [2 \text{ boda}]$$

- Zraka koja ulazi u prozorčić pod maksimalnim kutom α_{max} dolazi s ruba vidljivog kruga na dnu. Maksimalnu površinu vidimo kada je oko prislonjeno uz prozorčić. Tada se vidni stožac širi od rubova prozorčića, pa ukupni polumjer vidljivog kruga na dnu (R_{tot}) čine polumjer prozorčića r i horizontalni doseg zrake pod graničnim kutom $R = h \cdot \tan \alpha_{max}$.
- Ukupni polumjer vidljivog kruga na dnu tada iznosi:

$$R_{tot} = R + r = h \cdot \tan \alpha_{max} + r \quad [2 \text{ boda}]$$

Čim se oko odmakne od prozorčića, vidno polje se smanjuje jer rubovi prozorčića postaju fizička zapreka.

- Koristimo trigonometrijsku vezu $\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}$:

$$\tan \alpha_{max} = \frac{\frac{1}{n_w}}{\sqrt{1 - \frac{1}{n_w^2}}} = \frac{1}{\sqrt{n_w^2 - 1}} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Izračunamo R i R_{tot} :

$$R = \frac{h}{\sqrt{n_w^2 - 1}} = 5.103 \text{ m} \quad [1 \text{ bod}]$$

$$R_{tot} = 5.103 \text{ m} + 0.2 \text{ m} = 5.303 \text{ m} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Maksimalna površina dna koja se vidi kroz prozorčić je:

$$S = R_{tot}^2 \pi$$

Uvrštavanjem brojeva:

$$S = 88.35 \text{ m}^2 \quad [1 \text{ bod}]$$

5. Uski snop monokromatske svjetlosti iz izvora S valne duljine $\lambda = 600 \text{ nm}$ širi se duž pozitivnog smjera x -osi i pada na zrcalo. Okomica na zrcalo zatvara jednake kutove s negativnim smjerom x -osi i pozitivnim smjerom y -osi. Zrcalo ima refleksivnost jednaku jedan; drugim riječima, zrcalo je savršeni reflektor. Električki izolirana metalna ploha ukupne površine 10 m^2 postavljena je paralelno s x -osi i iznad zrcala kako bi primila odbijenu zraku. Izlazni rad metala je $W_0 = 1.90 \text{ eV}$. U prosjeku jedan od pedeset upadnih fotona uzrokuje emisiju fotoelektrona, a generirani fotoelektroni odmah se uklanjaju iz okoline. Snaga izvora je $P = 10 \text{ mW}$. Pretpostavite da je metalna površina velika i zanemarite rubne efekte, te da naboj nakupljen na ploči ne utječe na proces emisije fotoelektrona.

- Izračunajte iznos sile kojom snop djeluje na zrcalo.
- Izračunajte površinsku gustoću naboja na metalnoj površini nakon $t = 0.1 \text{ s}$.
- Odredite maksimalnu kinetičku energiju emitiranih elektrona.

- Svaki pojedinačni foton nosi impuls iznosa $p = \frac{h}{\lambda}$. [1 bod]
- Prilikom sudara sa zrcalom, mijenja se samo komponenta impulsa okomita na površinu zrcala, dok paralelna komponenta ostaje ista. Budući da okomica na zrcalo zatvara jednake kutove s negativnom x -osi i pozitivnom y -osi, kut upada iznosi $\alpha = 45^\circ$. [1 bod]
- Promjena impulsa jednog fotona pri refleksiji iznosi:

$$\Delta p_{\text{foton}} = p \cos \alpha - (-p \cos \alpha) = 2 \frac{h}{\lambda} \cos \alpha \quad [2 \text{ boda}]$$

- Ukupna sila F na zrcalo jednaka je ukupnoj promjeni impulsa svih fotona u jedinici vremena. Ako je N broj fotona koji udare u zrcalo u jednoj sekundi, sila je:

$$F = N \cdot \Delta p_{\text{foton}} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Broj fotona N (u jednoj sekundi) izračunamo iz snage izvora P i energije jednog fotona $E_f = \frac{hc}{\lambda}$:

$$N = \frac{P}{E_f} = \frac{P\lambda}{hc} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Uvrštavanjem izraza za N i Δp_{foton} , dobivamo:

$$F = \frac{P\lambda}{hc} \cdot 2 \frac{h}{\lambda} \cos \alpha = \frac{2P}{c} \cos \alpha \quad [1 \text{ bod}]$$

- Uvrštavanjem vrijednosti:

$$F = 4.714 \cdot 10^{-11} \text{ N} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Za izračun gustoće naboja, najprije odredimo energiju fotona:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda} = 3.313 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2.068 \text{ eV}$$

- Broj izbačenih elektrona u vremenu t ovisi o efikasnosti, tj. udjelu fotona koji uzrokuju emisiju fotoelektrona ($\eta = \frac{1}{50} = 0.02$):

$$N_e = \eta \cdot \frac{P}{E_f} \cdot t \quad [1 \text{ bod}]$$

- Površinska gustoća naboja σ na metalnoj površini $A = 10 \text{ m}^2$ nakon $t = 0.1 \text{ s}$ iznosi:

$$\sigma = \frac{\eta \cdot P \cdot e \cdot t}{E_f \cdot A} \quad [1 \text{ bod}]$$

$$\sigma = 9.671 \cdot 10^{-7} \text{ C/m}^2 \quad [1 \text{ bod}]$$

- Kinetička energija emitiranih elektrona određena je Einsteinovom jednadžbom:

$$E_{k,max} = E_f - W_0$$

$$E_{k,max} = 2.068 \text{ eV} - 1.90 \text{ eV} \quad [1 \text{ bod}]$$

- Maksimalna kinetička energija emitiranih elektrona je 0.168 eV . [1 bod]