

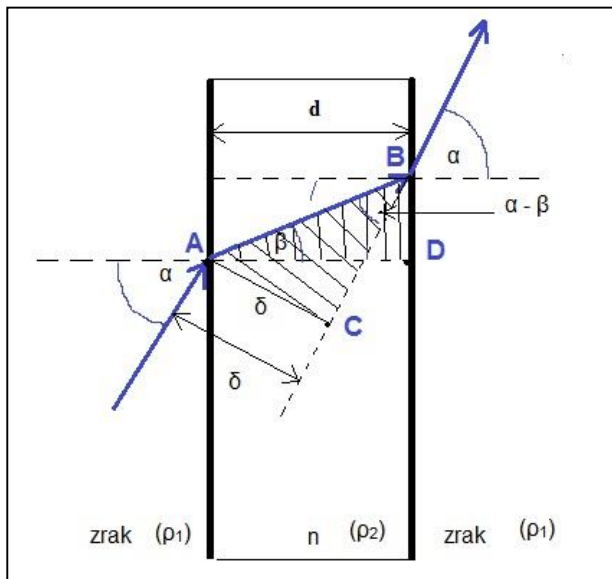
DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA
Vodice, 4. – 8. svibnja 2025.

Srednje škole – 4. skupina

Eksperimentalni zadatak – rješenje

1. S pomoću navedenog pribora odredite brzinu svjetlosti kroz žele smjesu tako da:

- a) koristeći se kutomjerom kao priborom za crtanje, nacrtate skicu prolaska zrake svjetlosti kroz žele smjesu s označenim svim veličinama bitnima za daljnji rad**
..... **4 boda**



Kao što je navedeno u zadatku, skica treba biti nacrtana s pomoću geometrijskog pribora. (1 bod)

Na skici trebaju biti jasno i precizno označena: dva paralelna ravna dioptra (granice planparalelne ploče koju u zadatku predstavlja žele bombon), sredstva različite gustoće (zrak – žele smjesa – zrak), put zrake svjetlosti kroz sredstvo veće gustoće s dva puta ucrtanim upadnim i lomljenim kutom, debljina ploče i pomak zrake svjetlosti. (3 boda)

Slika 1. Pomak zrake svjetlosti na planparalelnoj ploči

- b) riječima i algebarskim izrazima opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka**
..... **4 boda**

Planparalelnu ploču čine dva međusobno paralelna ravna dioptra, razmaknuta za udaljenost d . Ravni dioptrar predstavlja granicu između dvaju optički prozirnih homogenih sredstava različitih indeksa loma n_1 i n_2 , međusobno odvojenih ravninom (npr. zrak i voda, zrak i žele smjesa). Na dioptrijskoj plohi koja dijeli dva optički različita sredstva (p_1 i p_2) svjetlost mijenja pravac širenja. Tu pojavu nazivamo lom ili refrakcija svjetlosti (jedan od četiri osnovna zakona geometrijske optike). Lomljena zraka također leži u upadnoj ravnini i zatvara s okomicom na dioptrijsku plohu kut β . Omjer sinusa upadnog kuta α i sinusa kuta loma β stalan je broj koji nazivamo indeksom loma n , što je poznato kao Snelliusov zakon loma (nizozemski matematičar Willebrord Snellius, 1580. – 1626.):

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Indeks loma n fizikalna je veličina koja opisuje međudjelovanje svjetlosti i optičkog sredstva, odnosno koliko svjetlost usporava prilikom prolaska kroz određeni materijal u odnosu na brzinu svjetlosti u vakuumu. Definira se kao omjer brzine svjetlosti u vakuumu c i brzine svjetlosti u sredstvu v (1). Što je indeks loma veći, to svjetlost više usporava i više se lomi prilikom ulaska u sredstvo gustoće ρ . Ako svjetlost prelazi iz rjeđeg u gušći medij (npr. iz zraka ili vakuuma u sredstvo), usporava i lomi se prema okomici, a ako prelazi iz gušćeg u rjeđi medij (npr. iz sredstva u zrak ili vakuum), ubrzava i lomi se od okomice.

Ako je prvo sredstvo vakuum, tada indeks loma nazivamo apsolutnim indeksom loma n . Prema definiciji apsolutni je indeks loma vakuuma jedan. Kad svjetlosna zraka upada iz vakuuma u bilo koje prozirno sredstvo, lomi se prema okomici, odnosno kut loma β uvijek je manji od upadnog kuta α , što znači da je apsolutni indeks loma broj koji je uvijek veći od jedan ($n > 1$). Optički gušće sredstvo optički ima veći apsolutni indeks loma.

Ako se lom zrake svjetlosti događa između dvaju sredstava od kojih ni jedno nije vakuum, tada se indeks loma između tih dvaju prozirnih sredstava naziva relativnim indeksom loma drugog sredstva u odnosu na prvo ($n_{2,1}$). Relativni indeks loma jednak je omjeru apsolutnih indeksa loma:

$$n_{2,1} = n_2 / n_1 \quad (2)$$

Zakon loma možemo napisati i na ovaj način:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (3)$$

Upadna i lomljena zraka leže u istoj ravnini koja je okomita na graničnu dioptrijsku plohu, pri čemu je n_1 apsolutni indeks loma sredstva kroz koju svjetlost upada, a n_2 apsolutni indeks loma sredstva u kojemu se svjetlost lomi.

Zraka svjetlosti koja pod nekim kutom dolazi na prvi ravni dioptrar iz optički rjeđeg sredstva, lomi se prema okomici, dolazi do drugog ravnog dioptra i tada se ponovno lomi, ovaj put, zbog prelaska iz optički gušćeg u rjeđe sredstvo, prema okomici, pri čemu su ulazna i izlazna zraka međusobno paralelne i pomaknute za veličinu δ .

Prema Slici 1 za planparalelnu ploču uočljivo je da se radi o posebnom slučaju, kada dva sredstva s objiju strana ploče imaju isti indeks loma, pri čemu nakon dvostrukog loma zraka svjetlosti nakon izlaska iz ploče ostaje sama sebi paralelna, ali translahirana za vrijednost δ .

Iz pravokutnog trokuta ABC (slika 1) proizlazi:

$$\delta = AB \sin (\alpha - \beta) \quad (4)$$

Iz pravokutnog trokuta ABD (slika 2) slijedi:

$$AB = \frac{d}{\cos \beta} \quad (5)$$

Uvrštavanjem izraza (5) za AB u izraz (4) dobijemo izraz za pomak zrake svjetlosti kroz planparalelnu ploču prema Slici 1:

$$\delta = d \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta} \quad (6)$$

Kut loma β i upadni kut α međusobno su povezani Snelliusovim zakonom loma:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \quad (7)$$

Za pomak zrake svjetlosti nakon trigonometrijskih transformacija vrijedi sljedeći konačan izraz u kojemu je sadržan i zakon loma:

$$\delta = d \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \quad (8)$$

Po 1 bod dodjeljuje se za točno definiranje planparalelne ploče i zakona loma, te izraza za Snelliusov zakon loma (1) koji u sebi sadržava omjer sinusa upadnog i lomljenog kuta i omjer brzina svjetlosti u vakuumu/zraku i sredstvu veće gustoće.

c) navedete korake u radu: postavljanje eksperimentalnog seta i mjerenje

..... 4 boda

Eksperimentalni set pripremimo na sljedeći način:

- na papirnatoj maramici pripremimo žele bombon kao planparalelnu ploču tako da petom pribadačom, ravnim rubom kutomjera ili koncem odrežemo paralelno dvije nasuprotne stranice
- postupak ponovimo s drugim žele bombonom i zatim za daljnji eksperiment izaberemo onaj koji u svim točkama ima istu širinu, što znači da su mu dvije nasuprotne stranice paralelne i ravne
- tako pripremljenom žele bombonu izmjerimo širinu i na svih 5 milimetarskih papira u sredini nacrtamo dvije paralelne crte međusobno odvojene za širinu odabranog i pripremljenog žele bombona koje će predstavljati dva ravna dioptra, tj. dvije paralelne stranice žele bombona
- na ravnu podlogu stola postavimo stiropor i zatim na njega prvi milimetarski papir
- na milimetarski papir između dvaju nacrtanih pravaca postavimo žele bombon tako da njegove dvije pripremljene prozirne stranice budu na pravcima
- zatim pristupimo viziranju tako da prvo s jedne strane žele bombona kroz milimetarski papir u stiropor zabodemo dvije pribadače koje tako čine pravac (zraku svjetlosti) koja do ravnog dioptra dolazi pod kutom α
- s druge strane žele bombona, iza drugog paralelnog ravnog dioptra, u stiropor zabodemo još dvije pribadače tako da viziranjem kroz jedno oko dobijemo potpuno preklapanje svih četiriju pribadača (dvije ispred i dvije iza žele bombona)
- zatim maknemo žele bombon i pribadače, skinemo milimetarski papir sa stiropora i s pomoću kutomjera na milimetarskom papiru nacrtamo put zrake svjetlosti kroz žele bombon s dvostrukim lomom
- na milimetarskom papiru označimo kutove i izmjerimo ih s pomoću kutomjera – vrijednosti upišemo u tablicu
- postupak ponovimo za još četiri milimetarska papira.

d) tablično prikažete rezultate za pet mjerenja

..... 3 boda

Tablica treba sadržavati:

- redni broj mjerenja
- mjerene veličine za upadni kut i kut loma (1 bod)
- izračunate vrijednosti za indeks loma i za brzinu svjetlosti (2 boda)

- zbog praktičnosti može se uvrstiti u tablicu ili napisati u drugačijem obliku vrijednost svakog pojedinačnog odstupanja dobivenog rezultata u odnosu na srednju vrijednost (točka f)
- također se može zapisati i dobiveni pomak zrake svjetlosti, ali ta vrijednost nije nužna za cilj praktičnog zadatka te se ne boduje.

e) pet milimetarskih papira sa zapisom rada priložite uz ovaj izvještaj 5 bodova

Papiri trebaju sadržavati oznaku dvaju ravnih dioptara, put zrake svjetlosti kroz točke od uboda pribadača s dvostrukim lomom i označene kutove – oznake kutova trebaju biti usklađene s tablicom pod d).

f) provedete račun pogreške koji uključuje srednju vrijednost dobivene brzine svjetlosti, pojedinačno odstupanje od srednje vrijednosti, zapis točnog rezultata i maksimalnu relativnu pogrešku 4 boda

Srednja vrijednost: $v^* = \sum v_i / N$, N – broj mjerenja (9)

Apsolutna vrijednost maksimalnog pojedinačnog odstupanja:

$|\Delta v_{\max}| \sim$ prema: $\Delta v = v_i - v^*$ (10)

Relativna maksimalna pogreška: $r_m = [(|\Delta v_{\max}| / v^*) \cdot 100] \%$ (11)

Zapis točnog rezultata: $v = (v^* \pm \Delta v_{\max})$ (12)

Po 1 bod za svaki točan zapis, s pripadajućom mjernom jedinicom.

g) prema stečenom eksperimentalnom iskustvu navedete što je utjecalo na preciznost rezultata 2 boda

Očekuje se kratak osvrt na način viziranja, mjerenje kutova, oblik pripremljenog žele bombona.

h) analizirate eksperimentalni rezultat tako da usporedite dobivenu vrijednost s poznatom vrijednošću za brzinu svjetlosti i ukratko komentirate rezultat 2 boda

Kratka usporedba srednje vrijednosti eksperimentalnog rezultata u odnosu na poznatu vrijednost brzine svjetlosti u vakuumu i zraku (1 bod) s naznačenom razlikom (1 bod).

i) zaključno ponovite prema kojemu je algebarskom izrazu i fizikalnoj zakonitosti moguće odrediti brzinu svjetlosti u ovom eksperimentu 2 boda

Svaki izvještaj o eksperimentalnom radu treba imati i zaključni dio – ovdje su to zadatci g), h) i i). Potrebno je ponoviti izraz za Snelliusov zakon loma (1) koji sadržava oba omjera i zatim jasno navesti da se u ovom eksperimentu radi o primjeni Snelliusova zakona loma na planparalelnoj ploči koju predstavlja žele bombon (1 bod).

Ukupno: 30 bodova