NACIONĀLAIS ATTĪSTĪBAS PLĀNS 2020
EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais fonds
atbalsts izcilībai
IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

8.3.2.1./16/I/002
NACIONĀLA UN STARPTAUTISKA MĒROGA PASĀKUMU ĪSTENOŠANA IZGLĪTOJAMO TALANTU ATTĪSTĪBAI
Strūgu iela 4, Rīga, LV-1003, tālr. 67350966, e-pasts: info@832.visc.gov.lv

Fizikas Valsts 73. olimpiāde
Trešā posma uzdevumi 11. klasei

11-D Autoritārā caurule (demonstrējums)

Video ar demonstrējumu var atrast: https://youtu.be/WlzBZQ2eSdQ

Noskaties eksperimenta video un atbildi uz sekojošiem jautājumiem!

A. **Ar skaļruni**: eksperimenta pirmajā daļā viens caurules gals beidzas ar skaļruņa membrānu (difuzoru), un visas šķirbas šajā galā ir rūpīgi aiztaisītas tā, ka šo galu var uzskatīt par slēgtu. Otrs gals ir vaļējs. Skaļrunim no elektrisku svārstību ģeneratora pienāk sinusoidāls signāls ar nepārtraukti pieaugošu frekvenci no 177Hz līdz 1200 Hz. Eksperimenta laikā ir labi dzirdams, ka noteiktu frekvenču tuvumā skaņa kļūst skaļāka. Diemžēl ierakstā tas nav tik labi saklausāms. Tādēļ nākas atklāt šo frekvenču aptuvenās vērtības hercos: 250; 350; 450; 550; 650; 750; 850; 950; 1050; 1150 Hz.

(A.1) (1 punkts) Kādēļ, tuvojoties noteiktām frekvencēm, skaņa kļuva skaļāka? Kas to nosaka?

> **Atrisinājums:**
> Tās ir rezonanses frekvences caurulei ar vienu noslēgtu galu un otru vaļēju. Šo frekvenču skaitliskās vērtības pakļaujas nosacījumam, ka gaisa svārstību (masas novirzes no līdzsvara stāvokļa) amplitūda skaņas stāvvilnī pie noslēgtā gala ir nulle, bet pie vaļējā gala maksimālā.

(A.2) (2 punkti) Kādām frekvencēm vēl ārpus izmēģinātā diapazona caurule varētu būt atsaucīga? Pamato savu izvēli!

> **Atrisinājums:**
> Caurule rezonē frekvencēm, kuras caurules garumā iekļauj $\frac{1}{4}$; $\frac{3}{4}$; $\frac{5}{4}$ u.t.t. no sava viļņa garuma gaisā. Redzams, ka jau konstatētās frekvences ir harmonikām (virstoņiem), kas iekļauj $\frac{5}{4}$; $\frac{7}{4}$; $\frac{9}{4}$ u.t.t. viļņa garumus. Tāpēc skaidrs, ka caurule vēl varētu rezonēt 50; 150; 1250; 1350; 1450 u.t.t. Hz frekvencēs.

(A.3) (2 punkti) Cik gara ir caurule?

> **Atrisinājums:**
> No nomērītās frekvenču virknes redzams, ka katra rezonējošā frekvences no iepriekšējās atšķiras par 100 Hz, kas atbilst pusei no to viļņa garumiem. Var arī vienkāršāk paņemt

pirmo no tām:

$$\begin{aligned} f &= 250\,\mathrm{Hz} \\ \lambda &= \frac{v}{f} \end{aligned} \tag{1}$$

No tā iegūstam, ka:

$$\lambda = \frac{344}{250} = 1.376\,\mathrm{m} \tag{2}$$

Attiecīgi caurules garums ir:

$$\frac{5}{4}\lambda = \frac{5}{4} \cdot 1.376 = 1.72\,\mathrm{m} \tag{3}$$

Pieļaujama kļūda $\pm 0.15\,\mathrm{m}$.

B. **Ar balss saitēm**: Eksperimenta otrajā daļā dzirdams mēģinājums līdzīgi ieskandināt cauruli, lietojot cilvēka balss saites, ja caurules viens gals ir cieši piespiests mutei, bet otrs ir vaļējs.

(B.1) (1 punkts) Kas dzirdams eksperimenta otrajā daļā? Kāpēc neizdodas caur cauruli nodziedāt skaņu ar nepārtraukti augošu augstumu?

Atrisinājums:
Caurules rezonanses frekvenču tuvumā balss tonis pārlec uz šo rezonanses augstumu, balss saites nespēj piespiest cauruli skanēt citādi.

(B.2) (4 punkti) Kas būtiski atšķir caurules sadarbību ar skaļruni un ģeneratoru no sadarbības ar balss saitēm?

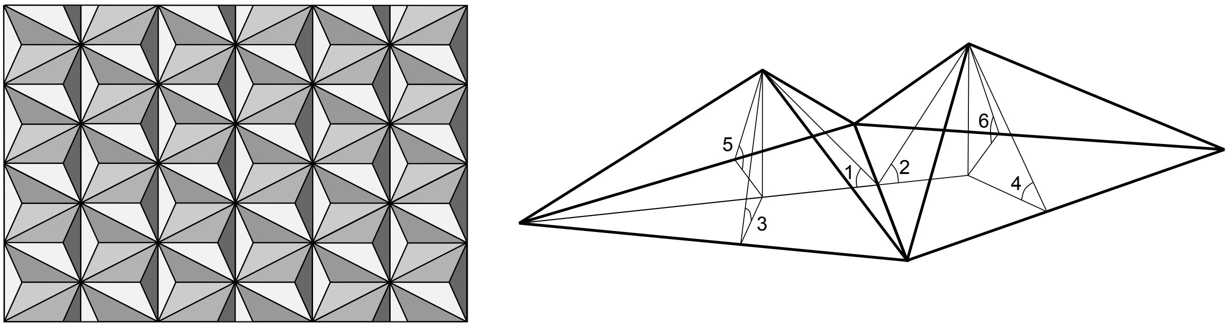
Atrisinājums:
Akustiskie procesi caurulē nevar ietekmēt elektroniskā skaņas frekvenču ģeneratora darbību, tas pats diktē, kā (ar kādu frekvenci) jāsvārstās skaļruņa difuzoram. Caurule šai frekvencei var tikai vairāk vai mazāk rezonēt, palielinot skaņas svārstību amplitūdu vai nē (1 punkts).

Bet, sadarbojoties ar cilvēka balss saitēm, izteikti darbojas atgriezeniskā saite starp skaņas ierosinātāju un rezonatoru. Tā tas notiek arī pūšamajiem instrumentiem. Instrumenta mēlīte vai svilpīte, vai cilvēka lūpas spēlējot, vai balss saites dziedot tikai periodiski maina laika vienībā caur tām izplūstošā gaisa daudzumu, tādā veidā ierosinot svārstības rezonatoros. Cilvēkam tādi ir mutes, deguna un citi dobumi, elpceļi, pat galvaskausa kauli. Tos visus intuitīvi vadot kopā ar balss saitēm cilvēks spēj nodziedāt jebkura augstuma skaņu savā balss diapazonā. Taču caurules iespējamās rezonanses cilvēks nevar ietekmēt. Tās ir nemainīgas, to rezonanses līknes ir ar izteiktiem, frekvenču skalā šauriem pīķiem (maksimumiem). Sadarbojoties ar balss saitēm, kuru rezonanses maksimumi ir daudz lēzenāki (platāki), caurule darbojas kā diktators, kas nosaka, ko būs dziedāt un ko nebūs. Jo balss saišu svārstību frekvence ir atkarīga ne tikai no to sastiepuma, bet arī no gaisa spiediena izmaiņām abās to pusēs dažādās saišu svārstību fāzēs, ko savukārt nosaka izmantoto rezonatoru darbība (3 punkti).

11-E Retroreflektors

Ikdienā gandrīz uz katra soļa mēs sastopamies ar atstarotājiem. Tos regulāri iestrādā, piemēram, uz ceļazīmēm, stabiņiem, kravas automašīnām, apģērbos. Lielākā daļa no tiem pēc konstrukcijas gaismu atstaro difūzā ceļā un pakļaujas Lamberta kosinusa sakarībai. Citiem vārdiem sakot, atstarošanās no leņķī novietota atstarotāja (reflektora) jūtami samazina atstarotās gaismas intensitāti. Lai novērstu šādu problēmu, ir iespējams konstruēt tādus reflektorus, kas atstaro gaismu tajā pašā virzienā, no kura gaisma krīt uz to. Šādus reflektorus sauc par retroreflektoriem.

Retroreflektīvas lentas visbiežāk tiek veidotas, izmantojot periodiski izvietotas trijstūra mikroprizmas (skatīt attēlu no augšas)



Attēls 1: (a) Retroreflektīvas plēves struktūra palielinājumā. (b) Prizmas, kas veido plēvi, un leņķi 1-6 starp prizmas skaldnēm un pamatu.

Darba materiāli un mērinstrumenti

- retroreflektīva plēve (tās apakšdaļa palielinājumā redzama 1. attēlā)
- lāzera rādītājs
- lineāls
- transportieris
- statīvs
- ekrāns (balta lapa uz kartona)

Uzmanību! *Ņem vērā, ka retroreflektīvajai plēvei optiskajiem eksperimentiem jāizmanto tikai tās nokasītā daļa (caurspīdīgā daļa plēves malā dažu milimetru izmērā), jo, spīdinot gaismu no otras puses, plēve kalpos par retroreflektoru un atstaros gaismu tajā pašā virzienā, kurā tā krīt.*

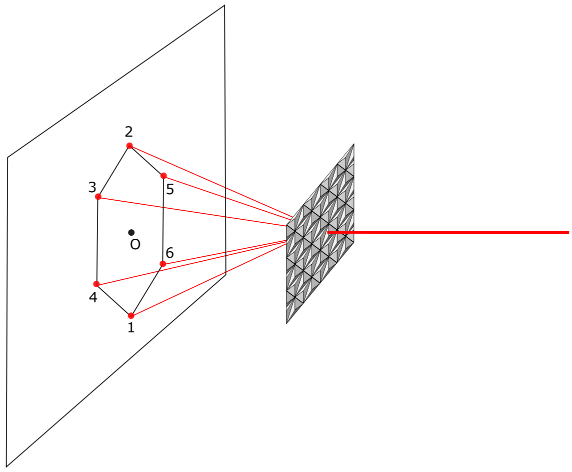
A. (2 punkti) Nosaki, kā ar vienādībām un nevienādībām saistīti prizmas leņķi α_i ($i = 1, 2, ...6$). Šīs sakarības varēs izmantot tālākos uzdevumos, tādējādi samazinot nezināmo leņķu skaitu. Atbildē attēlo skici eksperimentālajam uzstādījumam un norādi, kas tieši tiek mērīts.

Piezīme: Skaldni, kura atbilst leņķim ar indeksu "1", var izvēlēties patvaļīgi.

Atrisinājums:

Šis uzdevums ir balstīts uz XVII Ziemeļvalstu-Baltijas olimpiādes 4. uzdevuma.

Spīdinot lāzera staru perpendikulāri dotajam retroreflektoram, uz ekrāna novērojama sekojoša aina, kas attēlota zemāk.



Uz ekrāna var ieraudzīt refrakcijas ainu, kas sastāv no 6 punktiem. Ir svarīgi izmērīt attālumus no centra O līdz punktiem, lai saprastu nolieces leņķus un savstarpēji salīdzinātu prizmas leņķus α_i. Var secināt, ka:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_2 \\ \alpha_3 &= \alpha_6 \\ \alpha_5 &= \alpha_4 \end{aligned} \tag{4}$$

Praktiski tas nozīmē, ka var apskatīt tikai vienu prizmu, jo leņķi ir pa pāriem vienādi. Vēl jo vairāk, var ievērot, ka tikai divi leņķi ir atšķirīgi, jo $\alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6$ un $\alpha_1 = \alpha_2$.

Punktu piešķiršana:

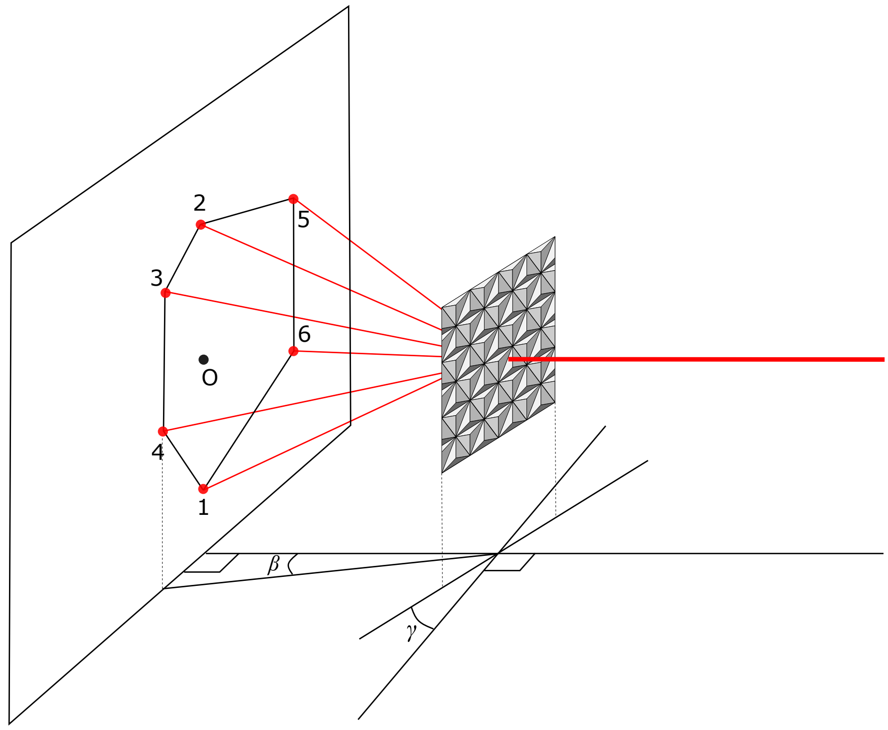
1. Par eksperimentālo skici 0.5 punkti
2. Par pareizi kategorizētiem leņķiem 1.5 punkti

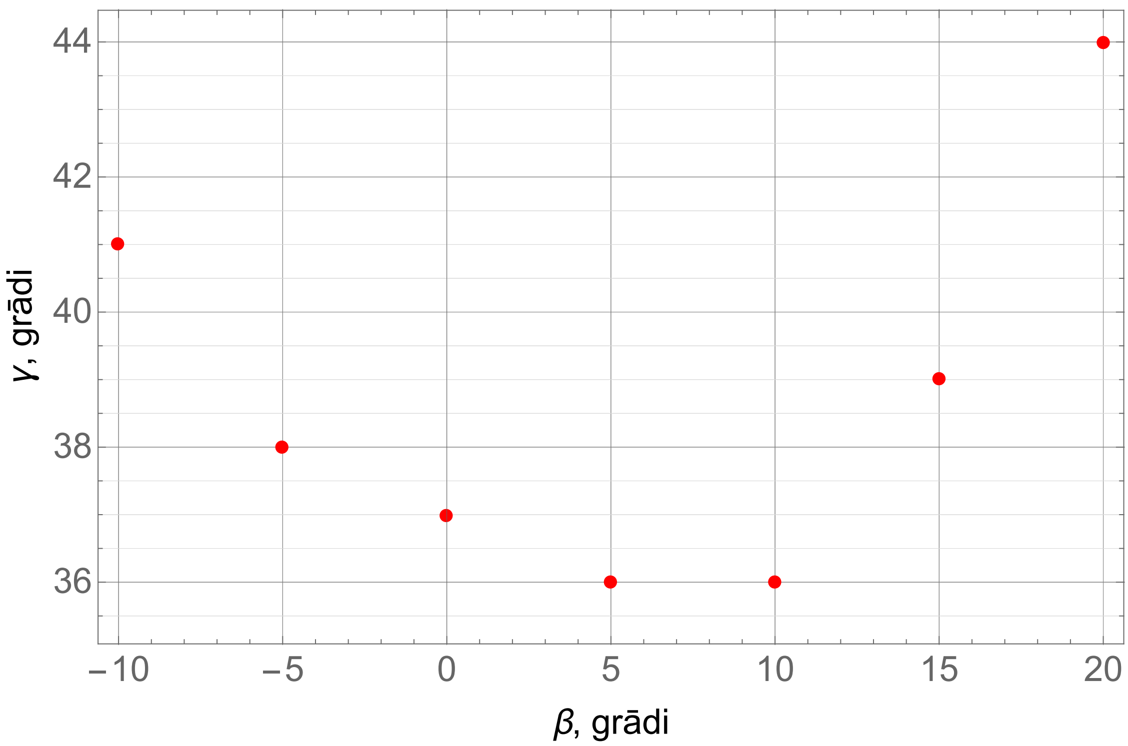
B. (2 punkti) Kad gaisma krīt uz plēves plakano virsmu perpendikulāri tai, gaismas izplatīšanās virziens mainās par 180°. Tomēr mazās prizmas var kalpot arī par par prizmām, kas novirza gaismas staru par leņķi β (ja gaisma krīt no otras puses). Leņķis β ir atkarīgs no gaismas krišanas leņķa un prizmas leņķa $\alpha = \alpha_i$. Nosaki minimālos novirzes leņķus β_i $(i = 1, 2, ...6)$. Atbildē uzzīmē eksperimentālā uzstādījuma skici, kā arī norādi to, kas tiek mērīts.

Atrisinājums:

Minimālo novirzes leņķi var atrast, fiksējot lāzera un ekrāna pozīcijas un mainot plēves pozīciju pret lāzera staru, to noliecot uz vienu pusi. Tādā gadījumā mainīgos novirzes leņķus var novērot kā sešu lāzera punktu kustību uz ekrāna, taču starp tiem atšķirīgi ir tikai divi leņķi, kas tika identificēti iepriekšējā punktā. Atliek tikai atrast tādu plēves novietojumu, lai punktu novirze uz ekrāna būtu minimāla (skatīt attēlā zemāk).

No mērījumiem iegūst $\beta_1 = 36 \pm 3°$ (grafiks attēlots zemāk) un $\beta_2 = 28 \pm 3°$, kur indekss 1 atbilst leņķiem α_1 un α_2, bet indekss 2 atbilst pārējiem atlikušajiem prizmas leņķiem.





Punktu piešķiršana:

1. Par eksperimentālo skici 0.4 punkti
2. Tabulas ar datiem vismaz abiem diviem atšķirīgajiem leņķiem, kur katrā ir vismaz 5 datu punkti un izvēlēti tā, lai varētu identificēt minimumu:
   (a) Viss pareizi - par katru tabulu 0.8 punkti

(b) 3 vai 4 punkti tabulā - par katru tabulu 0.6 punkti

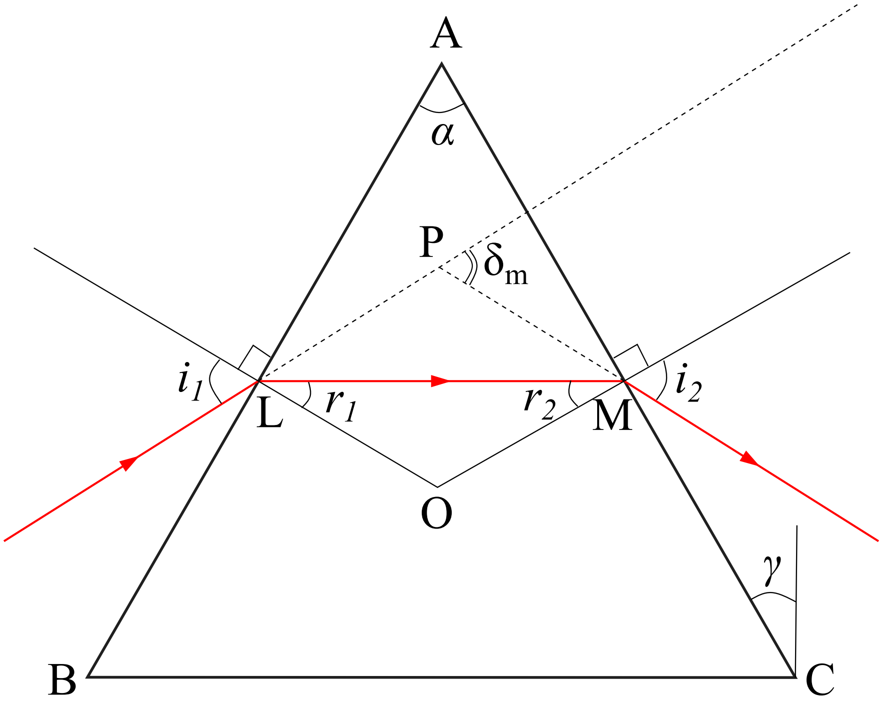
(c) identificēta tikai minimālā vērtība - par katru leņķi 0.3 punkti

(d) Rezultāts atšķiras par vairāk nekā $\pm 3°$, bet mazāk nekā $5°$ robežās - par katru atšķirīgo vērtību atņemt 0.1 punktu.

C. (3 punkti) Nosaki prizmas leņķus α_i ($i = 1, 2, ...6$). *Padoms: prizmas minimālais novirzes leņķis sakrīt ar to gadījumu, kad gaismas laušana norit simetriski (krišanas leņķis ir vienāds leņķi, kurā gaisma iznāk no mikroprizmas).*

Atrisinājums:

Pa priekšu izvedīsim noderīgas sakarības, kas izpildās minimālās deviācijas leņķa gadījumam. Apskatīsim šo situāciju attēlā. Attēlā zemāk redzama prizma ABC ar virsotnes leņķi α, prizmas materiāla gaismas laušanas koeficients ir n.



Krītošais stars vispirms tiek lauzts punktā L. Izmantojot Snella likumu:

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = n$$
$$\sin r_1 = \frac{\sin i_1}{n} \tag{5}$$
$$r_1 = \sin^{-1}\left(\frac{\sin i_1}{n}\right)$$

Stars tiek vēlreiz lauzts punktā M. Vēlreiz pielietojot Snella likumu, iegūst:

$$\frac{\sin r_2}{\sin i_2} = \frac{1}{n}$$
$$\sin i_2 = n \sin r_2 \tag{6}$$
$$i_2 = \sin^{-1}(n \sin r_2)$$

Četrstūrī $ALOM$: $\angle L + \angle M = 180°$, tātad $\angle A + \angle O = 180°$. Trijstūrī OLM: $\angle O + r_1 + r_2 = 180°$. Apvienojot abus, iegūst $r_1 + r_2 = \alpha$.

Minimālais novirzes leņķis $\delta = \angle PLM + \angle PML$. Šo leņķi var izteikt, izmantojot krišanas un laušanas leņķus:

$$\delta = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2) \tag{7}$$
$$\delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2) \tag{8}$$

Ievietojot $r_1 + r_2 = \alpha$, iegūst $\delta = i_1 + i_2 - \alpha$.

Uzdevuma nosacījumos jau dots, ka novirzes leņķis ir minimāls, ja gaismas stars caur prizmu iziet simetriski ($i_1 = i_2 = i$). Tādā gadījumā minimālais novirzes leņķis δ_m ir:

$$\delta_m = 2i - \alpha \tag{9}$$

un krišanas leņķis

$$i = \frac{\delta_m + \alpha}{2}. \tag{10}$$

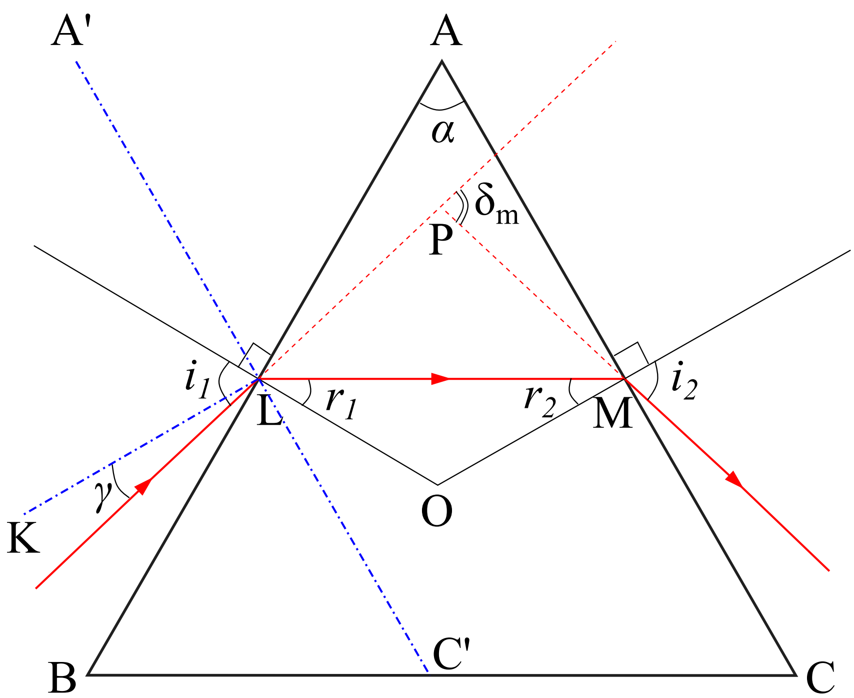
Tā kā $i_1 = i_2 = i$, tad arī $r_1 = r_2 = r$ un $r_1 + r_2 = \alpha$. Tad

$$r = \frac{\alpha}{2} \tag{11}$$

Ievietojot (10) un (11) Snella likumā $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, iegūst

$$n = \frac{\sin\left([\delta_m + \alpha]/2\right)}{\sin(\alpha/2)} \tag{12}$$

No visa šī mums ir ļoti noderīga sakarība (9). Mums ir nepieciešams sasaistīt leņķi, kurā novietots retroreflektors γ un krišanas leņķi i. To var ieraudzīt, ja ievieš papildkonstrukciju - ar paralēlo pārnesi attēlota mala A′C′, kas paralēla AC.



Tā ļauj viegli ieraudzīt kā saistās retroreflektora leņķis γ pret lāzera staru un krišanas leņķi i_1. No tā seko, ka:

$$\alpha + \gamma = i_1 \tag{13}$$

Simetriskā gadījumā tas nozīmē, ka $\alpha + \gamma = i$. Un, ievietojot (9) iegūst, ka:

$$\delta_m = 2(\alpha + \gamma) - \alpha = 2\gamma + \alpha \tag{14}$$

Šeit ir jāņem vērā, ko definē par pareizo virzienu leņķa mērīšanai. Attēlos iezīmētais leņķis γ patiesībā atbilst pretēji virzienā definētajam virzienam nekā mūsu datos iegūts. Attiecīgi, mūsu eksperimentālie dati dod vērtības $\alpha_1 = 52°$ un $\alpha_2 = 44°$.

D. (1 punkts) Tā kā virsmas $1, 3, 5$ ir perpendikulāras, tām izpildās sakarība $\cos^2\alpha_1 + \cos^2\alpha_3 + \cos^2\alpha_5 = 1$. Izmanto vienādību, lai pielāgotu iepriekšējā punktā iegūtās α_i vērtības, tām pieskaitot vai atņemot konstantu lielumu.

Atrisinājums:

Var viegli ieraudzīt, ka mūsu vērtības ap $\alpha_1 = 52°$ un $\alpha_2 = 44°$ pēc šīs sakarības sniedz vērtību:

$$2\cos^2 44° + \cos^2 52° \approx 1.28 \tag{15}$$

Ja abiem leņķiem pieskaita noteiktu konstantu lielumu, tad var iegūt, ka šis pieskaitāmais lielums ir $\Delta \approx 5.5°$.

E. (2 punkti) Nosaki plēves materiāla gaismas laušanas koeficientu.

Atrisinājums:

Šeit varam izmantot iegūto sakarību no C daļas. Tā kā esam izmērījuši δ_m un noteikuši α, tad no tā seko, ka:

$$n = \frac{\sin([\delta_m + \alpha]/2)}{\sin(\alpha/2)} = \frac{\sin([36° + 57.5°]/2)}{\sin(57.5°/2)} \approx 1.5 \tag{16}$$