



IphO 2009

Eksperimentālā kārtā

Trešdiena 2009.gada 15. jūlijs

Eksperimentālā kārtā sastāv no diviem uzdevumiem. Pirmajā uzdevumā Tev būs jānosaka diožu lāzera viļņa garums. Otrajā uzdevumā jāizmēra vizlas [kristāla] dubultlaušanas stiprums.

Vispirms izlasi šos noteikumus!

1. Eksperimentālās kārtas uzdevumu risināšanai ir atvēlētas 5 stundas.
2. Lieto tikai to pildspalvu, kuru Tu atrodi uz sava galda.
3. Raksti uz izsniegtā papīra lapas tikai vienas puses.
4. Uz uzdevumu lapas (*Question form*) augšējā kreisajā stūrī ir burts **Q**.
5. Atbildes ieraksti izsniegtajās atbilžu lapās (*Answer form*), kur lapas augšējā kreisajā stūrī ir burts **A**.
6. Tev tiks izsniegtas arī darba lapas (**Working Sheets**), lai pierakstītu risinājuma gaitu. Tās apzīmētas ar burtu **W**.
7. Atbilžu un darba lapās uzraksti tā uzdevuma numuru (1 vai 2), kuru tu risini.
8. Uz darba lapām raksti visu to, kas attiecas uz uzdevuma risinājumu. Izmanto pēc iespējas mazāk teksta. Izmanto vienādojumus, skaitļus, simbolus un grafikus.
9. Katram uzdevumam un katrai lapai (*Question form*, *Answer form*, *Working Sheets*) ieraksti savu numuru (**Students code**), lapas kārtas numuru pieaugošā secībā (**Page No.**) un kopējo lapu skaitu (**Total No of pages**). Ja, risinot uzdevumu, kādu lapu Tu izmanto savām darba piezīmēm un negribi, ka komisija tās vērtē, beigās pārvelc šīm lapām diagonālu krustu **X** visas lapas lielumā un **neiekļauj** šīs lapas kopējā numerācijā.
10. Kad esi pabeidzis uzdevumu risināšanu, sakārto lapas *sekojošā kārtībā*:
 - atbilžu lapas, ieskaitot milimetru papīru ar grafikiem (*Answer form*)
 - darba lapas (*Working Sheets*)
 - darba lapas, kurās ir Tavas darba piezīmes un Tu nevēlies, lai tās tiktu vērtētas (pārsvītrotas ar krustu **X**)
 - neizmantotās darba lapas
 - Tev iedotā uzdevuma teksta lapas

Ievieto katra uzdevuma lapas atbilstošā aploksnē, un atstāj visu uz sava galda. No telpas nav atļauts izņemt nevienu papīra lapu un nevienu eksperimentālās iekārtas sastāvdaļu.

11. Eksperimenta ierīces un materiāli ir ievietoti kastē divos līmeņos. Aprīkojuma attēli atrodas nākamajā lappusē. Atsevišķas ierīces ir APZĪMĒTAS ar burtiem. Novērtē vai katram eksperimentam visas ierīces atrodas kastē. **Ja eksperimenta laikā Tu konstatē, ka kāda no ierīcēm nedarbojas, lūdz tās nomainīt!**

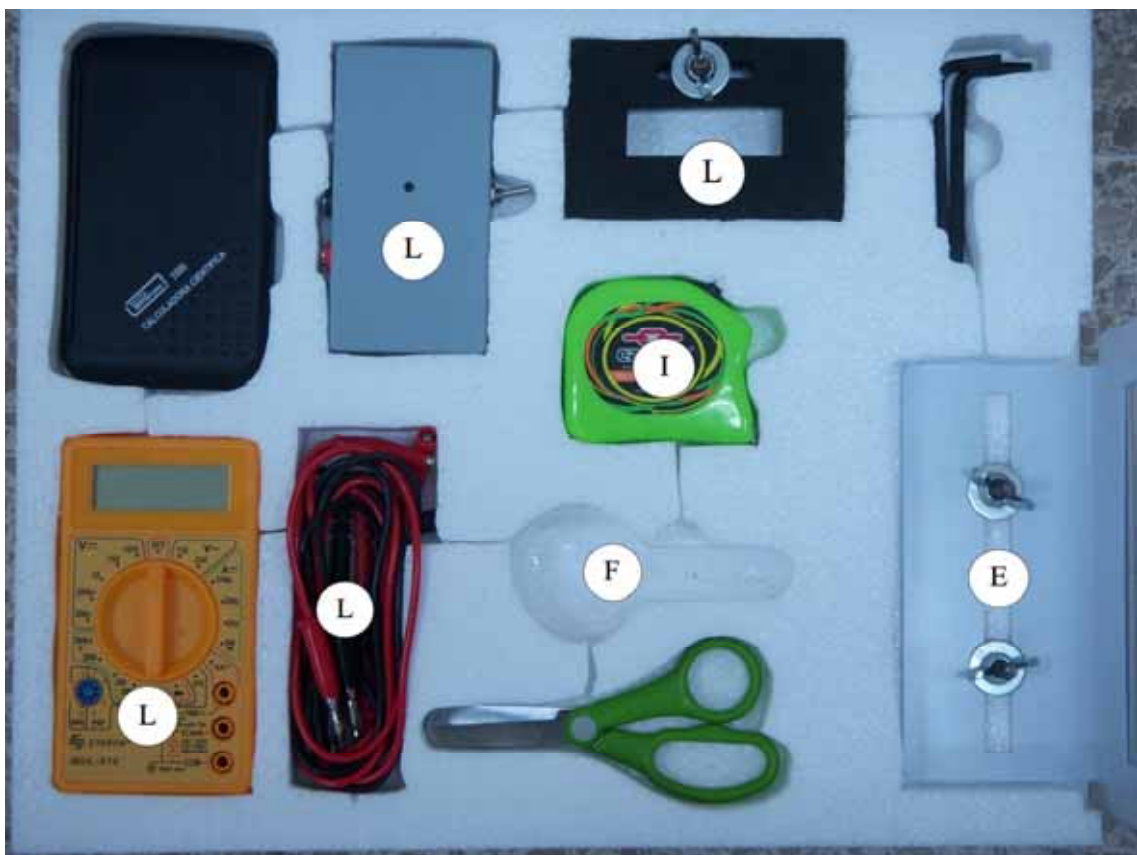
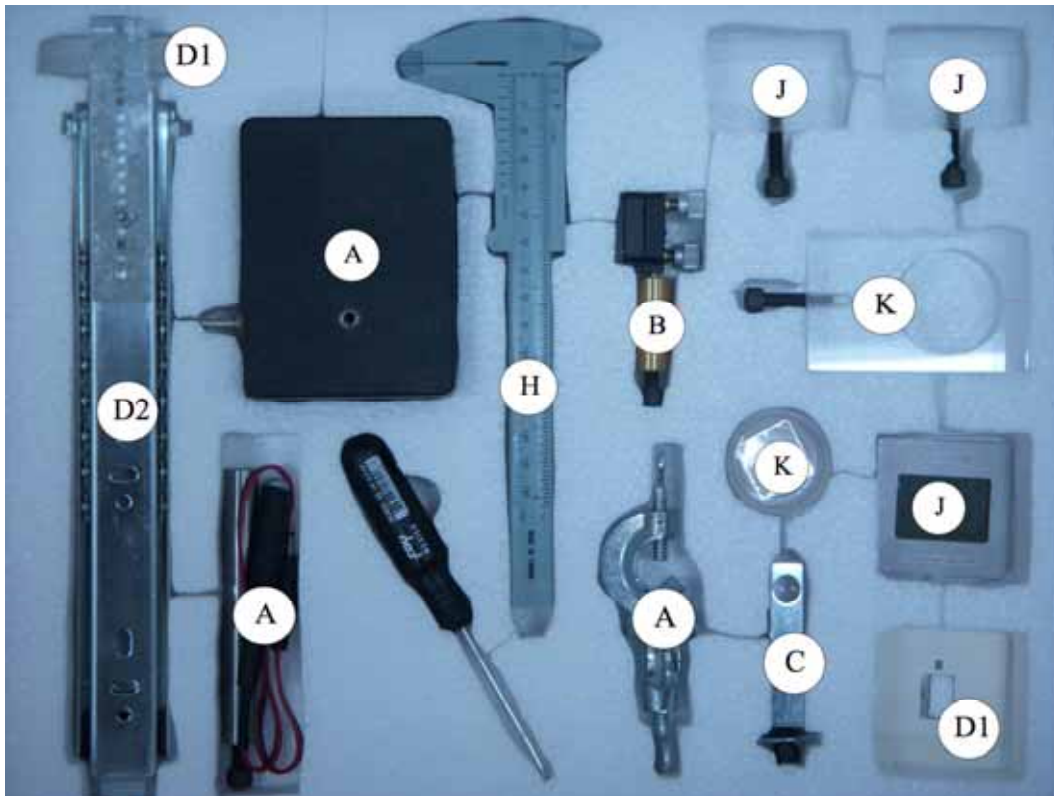
Vēlam veiksmi

Mārcis Auziņš

Austris Cābelis

Vjačeslavs Kaščejevs

Tulkojums latviešu valodā 2009 (c) M.Auziņš,A.Cābelis,V.Kaščejevs



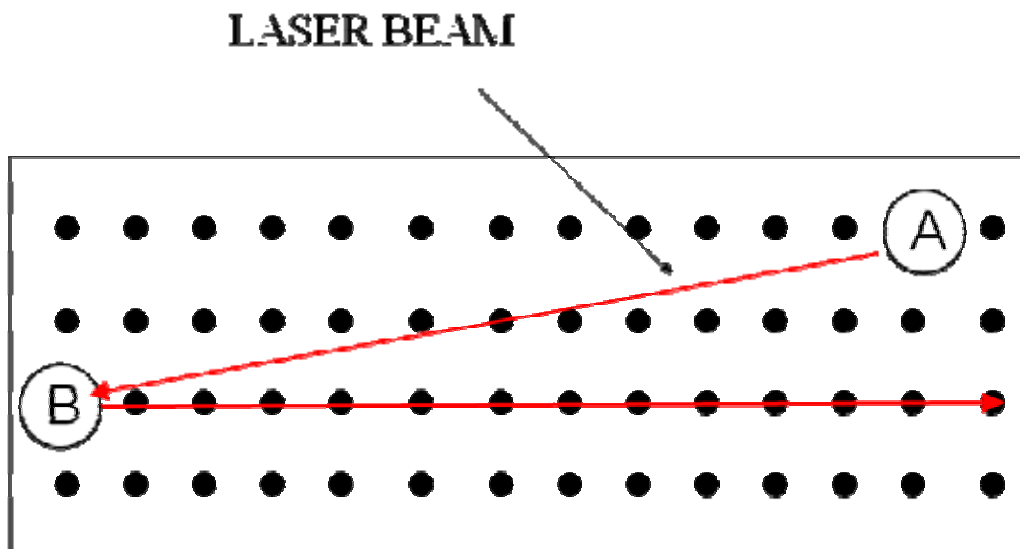
Diožu lāzera iekārta un regulējams spogulis

Abās eksperimentālajās iekārtās Tev būs nepieciešams diožu lāzers ar lāzera turētāju un barošanas avotu. Tāpat Tev abās iekārtās būs nepieciešams spogulis, kas ir piestiprināts regulējamam turētājam.

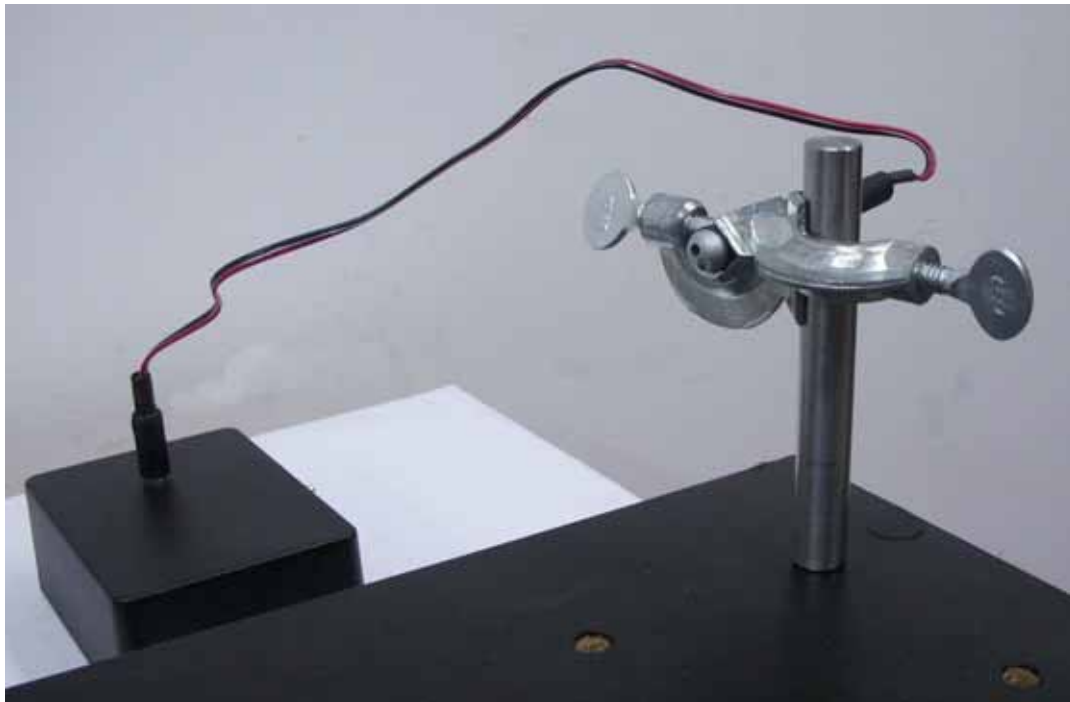
Mēs iesakām Tev nostiprināt lāzeru un spoguļi uz optiskā galda tā, kā parādīts attēlā 0 vēl pirms tam, kad Tu nolem, ar kuru uzdevumu sākt pildīt darbu. Izmanto sekojošas komponentes.

1. No koka izgatavotu optisko galdu.
2. Diožu lāzera iekārtu. Tā sastāv no paša diožu lāzera, metāla atbalsta stieņa, “S” veida stiprinājuma un barošanas avota (apzīmēts ar A). Skaties attēlu, kurā ir parādīts lāzera stiprinājums. **UZMANIES AR LĀZERA STARU! NONĀKOT TAVĀ ACĪ, LĀZERA STARS VAR BOJĀT REDZI.**
3. Spogulis, kas ir piestiprināts regulējamam stiprinājumam (apzīmēts ar B), satur divas skrūves. Tas ļauj regulēt spoguļi. Stiprinājums ir uzmontēts uz atbalsta stieņa. Skaties attēlu, kurā ir parādīts spoguļa stiprinājums. **UZMANĪBU: nostiprinot atbalsta stieni uz optiskā galda, neaizskar spoguļa virsmu. Noņem no spoguļa aizsarg pārsegu tikai pēc tam, kad esi to nostiprinājis uz optiskā galda!**

Nostiprini augstāk monētās komponentes uz optiskā galda tādā veidā, kā tas ir parādīts attēlā 0. Lāzera stara precīza iestādīšana tiks izdarīta vēlāk. **PIEZĪME:** tavā rīcībā ir sešstūra atslēgas, kas ļauj stingri pievilkt skrūves. Taču skrūves, kas ir pievilktas tikai ar roku, neizmantojot atslēgas, ir pietiekoši ciešas, lai eksperiments tiktu veikts ar nepieciešamo precizitāti.



Attēls 0. Lāzera un spoguļa stiprinājuma vietas.



Diožu lāzers, atbalsta stienis, “S” veida stiprinājums un barošanas avots (apzīmējums A)



Spogulis, regulējamais stiprinājums ar divām skrūvēm spoguļa regulēšanai un atbalsta stienis (apzīmējums B)

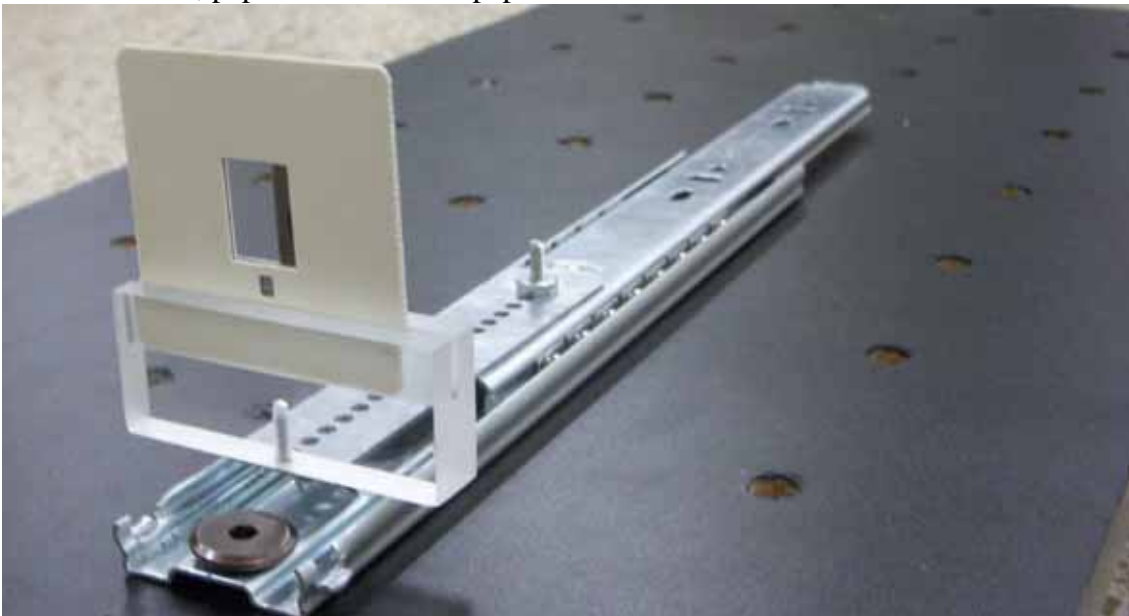
IPhO 2009 Eksperimentālā kārtā

1. Eksperimentālais uzdevums Diožu lāzera viļņa garuma noteikšana

Piederumi un materiāli

Papildus punktos 1), 2) un 3) minētajiem piederumiem Tev būs jāizmanto

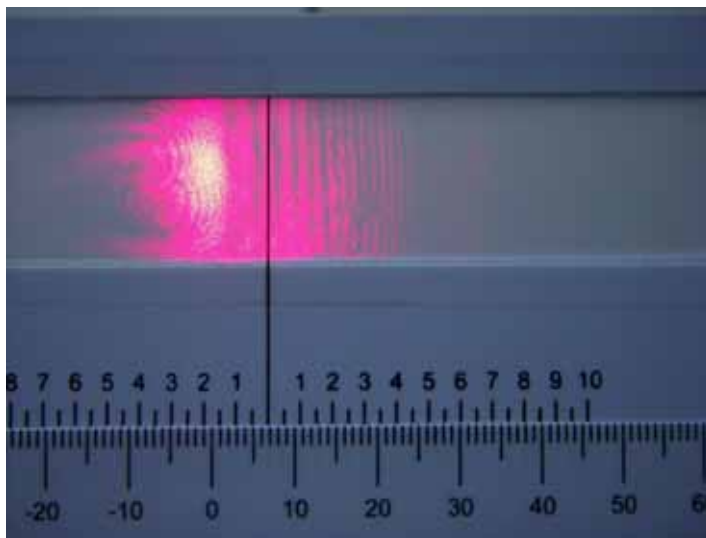
4. Lēca, kas ir iestiprināta kvadrātveida stabiņā (apzīmēta ar C)
5. Žiletas asmens, kas ir iestiprināts rāmītī, kas eksperimenta laikā tiks ievietots no organiskā stikla izgatavotā turētājā (apzīmēts ar D1). Turētājs kopā ar rāmīti tiks nostiprināts uz kustīgas sliedes (apzīmēta ar D2). Lai turētāju nostiprinātu uz sliedes, ja nepieciešams, izmanto skrūvgriezi. Attēlā ir redzams šī stiprinājuma kopskats.
6. Ekrāns novērošanai, ar bīdmēra tipa mērskalu (1/20 mm) (apzīmēts ar E)
7. Palielināmais stikls (apzīmēts ar F)
8. 30 cm garš lineāls (apzīmēts ar G)
9. Bīdmērs (apzīmēts ar H)
10. Mērlente (apzīmēta ar I)
11. Kalkulators
12. Baltas piezīmju lapiņas, līmlente, līmlapiņas, šķēres, taisnlenķa trijstūra lineāls.
13. Zīmulis, papīrs un milimetru papīrs.



No organiskā stikla izgatavotā rāmīša turētājā (apzīmēts ar D1) iestiprināts rāmītis ar žiletas asmeni, kas savukārt ir nostiprināts uz kustīgas sliedes.

Eksperimenta apraksts

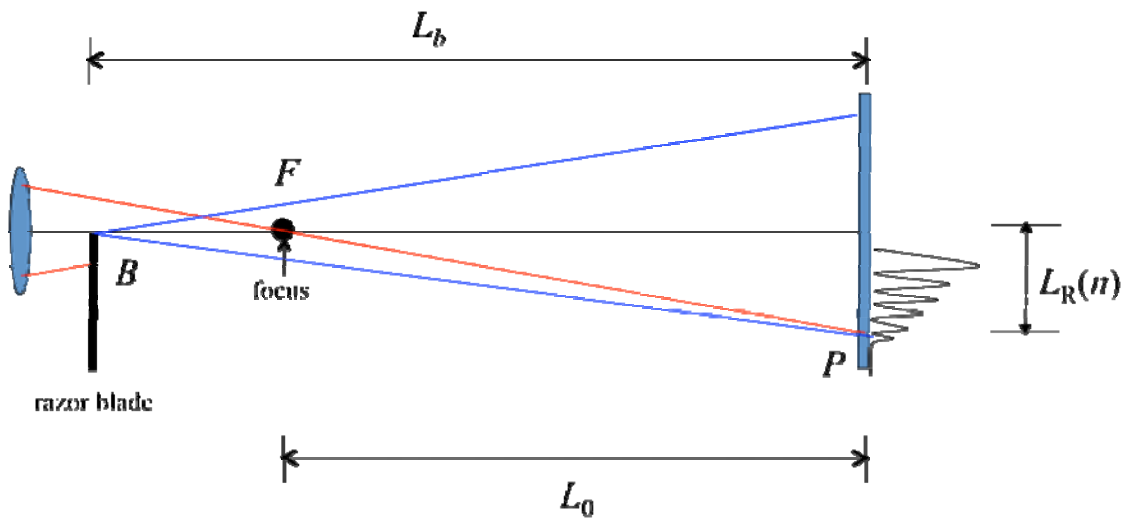
Tavs uzdevums ir noteikt diožu lāzera starojuma viļņa garumu. Šī mērījuma īpatnība ir tāda, ka Tavā rīcībā nav mikrostruktūras (tādas kā, piemēram, difrakcijas režģis) ar zināmiem parametriem. Mazākie attālumi, kurus Tu praktiski mēri eksperimenta laikā, ir milimetru diapazonā. Lāzera starojuma viļņa garums tiek noteikts, pētot šī starojuma (gaismas) difrakciju uz žiletas asmens malas.



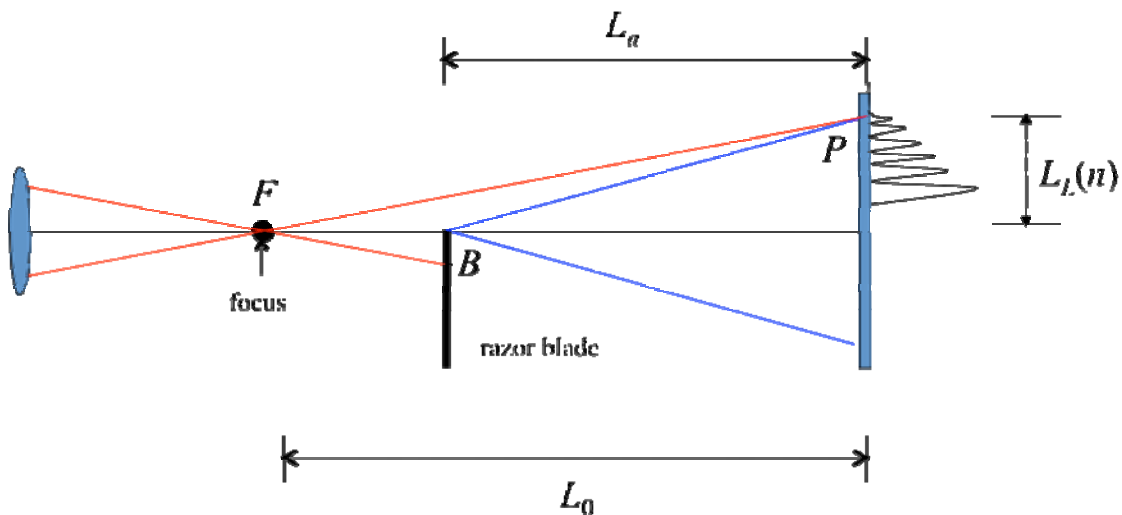
Attēls 1.1. Tipiska interferences aina

Pēc tam, kad lāzera stars (A) atstarojas no spoguļa (B), tam ir jāiet caur lēcu (C). Šīs lēcas fokusa attālums ir *daži centimetri*. Var pieņemt, ka lēcas fokusā, kur tiek safokusēts lāzera stars, izveidojas punktveida gaismas avots. Šis avots izstaro sfērisku viļņi. Aiz lēcas lāzera stars savā ceļā sastop žiletas asmens malu, kas bloķē daļu lāzera stara. Aiz žiletas asmens var uzskatīt, ka lāzera starojums izplatās cilindriskā viļņa formā. Abi veidotie viļņi – sfēriskais un cilindriskais, turpinot izplatīties virzienā uz priekšu, interferē. Šo viļņu interferences ainu var novērot uz ekrāna. Attēlā 1.1 ir redzama fotogrāfija, kas parāda tipisku interferences ainu, kāda ir sagaidāma uz ekrāna.

Ir iespējami divi svarīgi gadījumi, kas ir parādīti attēlos 1.2 un 1.3



Attēls 1.2. Gadījums (I). Žiletas asmens mala (punkts B) atrodas *pirms* lēcas fokusa punkta (punkts F). Veidojot attēlu nav ievērots mērogs.



Attēls 1.3. Gadījums (II). Žiletas asmens mala (punkts B) atrodas *pēc* lēcas fokusa punkta (punkts F). Veidojot attēlu nav ievērots mērogs.

EKSPERIMENTĀLĀ IEKĀRTA

Uzdevums 1.1. Eksperimentālā iekārta (1.0 punkti). Izveido eksperimentālo iekārta, kas ļauj novērot iepriekš aprakstīto interferences ainu. Attālumam L_0 no lēcas fokusa līdz ekrānam, uz kura tiek novērota interferences aina, ir jābūt ievērojami lielākam nekā lēcas fokusa attālumam.

- Uzzīmē savas eksperimentālās iekārtas shēmu. Zīmējumu veido par pamatu ņemot doto optiskā galda (koka plāksne ar caurumiem) attēlu. Zīmējumā ar burtiem, kas ir piešķirti dažādiem iekārtas

elementiem, atzīmē šo elementu novietojumu uz optiskā galda. Tu vari veidot vēl arī citus vienkāršus papildus zīmējumus, lai Tavas iekārtas konstrukcija būtu pilnīgi skaidra.

- Lai precīzi izsekotu lāzera starojuma gaitai Tu vari izmantot baltās piezīmju lapiņas.
- Zīmējumā parādi lāzera stara gaitu. Nomēri un uzraksti, kādā augstumā no optiskā galda izplatās lāzera stars.

Brīdinājums. Interferences ainā neņem vērā liela mēroga riņķveidīgu struktūru, kas atsevišķos gadījumos var parādīties lāzera konstruktīvo īpatnību dēļ.

Nedaudz paeksperimentē ar izveidoto iekārtu. Tev ir jāspēj iegūt uz ekrāna apmēram desmit vai pat nedaudz vairāk vertikālas interferences līnijas. Mērījumu veikšanai izmanto **tumšo** līniju pozīcijas. Tu vari izmantot palielināmo stiklu, lai labāk ieraudzītu interferences līniju pozīcijas. **Visērtāk ir novērot interferences ainu, ja Tu skatīsies uz ekrānu (E), uz kura veidojas interferences aina, no tās ekrāna puses, uz kuru lāzera gaisma tieši nekrīt.** Lai veiktu novērojumu šādā veidā, ekrānam piestiprinātajai bīdmēra tipa skalai ir jāatrodas ekrāna tanī pusē uz kuras lāzera starojums tieši nekrīt. Ja eksperimentālā iekārta ir precīzi izveidota, Tev jāvar novērot abas interferences ainas (gadījums I un gadījums II) vienkārši pārvietojot žiletas asmeni (D1) gar kustīgo sliedi (D2).

TEORĒTISKI APSVĒRUMI

Apskati attēlus 1.2 un 1.3. Tajos var redzēt piecus svarīgus attālumus:

L_0 : attālums no lēcas fokusa līdz ekrānam;

L_b : attālums no žiletas asmens līdz ekrānam, gadījums I;

L_a : attālums no žiletas asmens līdz ekrānam, gadījums II;

$L_R(n)$: n-tās **tumšās** interferences joslas pozīcija, gadījums I;

$L_L(n)$: n-tās **tumšās** interferences joslas pozīcija, gadījums II.

Pirmā tumšā interferences josla abos gadījumos (gadījumā I un gadījumā II) ir pati platākā, un tā atbilst interferences joslai $n = 0$.

Tavai izveidotajai eksperimentālajai iekārtai ir jābūt tādai, lai izpildītos nosacījumi $L_R(n) \ll L_0, L_b$ gadījumā I un $L_L(n) \ll L_0, L_a$ gadījumā II.

Interferences parādības pamatā ir tas, ka gaismas viļņa divas daļas, kas sāk izplatīties no viena punkta, nonāk uz ekrāna pa diviem dažāda garuma optiskajiem ceļiem. Atšķirībā no abu šo optisko ceļu garumu starpības mainās fāžu starpība starp abiem uz ekrāna nonākušajiem viļņiem. Ja veidojas destruktīvai interferencei atbilstošā fāžu starpība viļņi var viens otru nodzēst. Šajā gadījumā tiks novērota tumša interferences josla. Citā situācijā viļņi var viens otru pastiprināt. Veidojas konstruktīva interference, un tiks novērota gaiša interferences josla.



Detāla interferences ainu analīze rāda, ka nosacījums, lai gadījumā I veidotos **tumšas** interferences joslas, ir pierakstāms kā

$$\Delta_I(n) = \left(n + \frac{5}{8} \right) \lambda \quad \text{kur } n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.1)$$

Tas pats gadījumā II ir pierakstāms kā

$$\Delta_{II}(n) = \left(n + \frac{7}{8} \right) \lambda \quad \text{kur } n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.2)$$

kur λ ir lāzera starojuma viļņa garums, Δ_I un Δ_{II} ir optisko ceļu starpība atbilstoši gadījumos I un II.

Optisko ceļu starpība gadījumā I ir pierakstāma kā

$$\Delta_I(n) = (BF + FP) - BP \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.3)$$

Tajā pašā laikā šo optisko ceļu starpība gadījumā II ir pierakstāma kā

$$\Delta_{II}(n) = (FB + BP) - FP \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.4)$$

Uzdevums 1.2. Izteiksmes, kas ļauj atrast optisko ceļu starpību (0.5 punkti)

Izmantojot tuvinājumu $L_R(n) \ll L_0, L_b$ izteiksmē (1.3) gadījumam I un tuvinājumu $L_L(n) \ll L_0, L_a$ izteiksmē (1.4) gadījumam II (pārliecinies, ka šie nosacījumi izpildās arī Tevis izveidotajā eksperimentālajā iekārtā!), atrodi tuvinātu izteiksmi lielumiem $\Delta_I(n)$ un $\Delta_{II}(n)$. Izsaki šos lielumus, izmantojot $L_0, L_b, L_a, L_R(n)$ un $L_L(n)$. Lai iegūto šīs tuvinātās izteiksmes, Tu vari izmantot matemātisku sakarību, kas nosaka ka $(1+x)^r \approx 1+rx$ ja $x \ll 1$.

Eksperimentā var rasties grūtības lietojot augstāk iegūtās izteiksmes tādēļ, ka lielumus $L_0, L_R(n)$ un $L_L(n)$ nevar precīzi izmērīt. Pirmo lielumu nevar nomērīt tādēļ, ka nav zināma lēcas fokusa atrašanās vieta. Divus atlikušos lielumus ir grūti noteikti tādēļ, ka ir grūti noteikt punktu, no kura šie attālumi tiek mērīti, jo eksperimentālā iekārta, ļoti iespējams, nav ideāli izveidota.

Lai pārvarētu ar lielumu $L_R(n)$ un $L_L(n)$ eksperimentālo noteikšanu saistītās grūtības, vispirms izvēlies uz ekrāna atskaites punktu (nulli), no kura Tu mērīsi visus attālumus līdz interferences joslām. Ar $l_R(n)$ un $l_L(n)$ apzīmēsim izmērītos attālumus no izraudzītā atskaites punkta līdz

tumšām joslām, savukārt ar l_{0R} un l_{0L} apzīmēsim (nezināmos) attālumus līdz punktiem, no kuriem ir definēti lielumi $L_R(n)$ un $L_L(n)$. Tā mēs iegūstam:

$$L_R(n) = l_R(n) - l_{0R} \quad \text{un} \quad L_L(n) = l_L(n) - l_{0L} \quad (1.5)$$

EKSPERIMENTA GAITA. DATU APSTRĀDE.

Uzdevums 1.3. Interferences ainas tumšo līniju pozīciju un asmens novietojuma mērījumi. (3.25 punkti)

- Diviem gadījumiem (gadījums I un gadījums II) izmēri tumšo interferences līniju pozīcijas $l_R(n)$ un $l_L(n)$ atkarībā no joslas numura (interferences minimuma kārtas) n . Ieraksti savu mērījumu rezultātus tabulā I. Katram gadījumam veic vismaz 8 mērījumus.
- Pieraksti žiletas asmens pozīcijas L_b un L_a . Ar burtu apzīmējuma palīdzību parādi, kādus instrumentu Tu lietoji šī mērījuma veikšanai.
- **SVARĪGS IETEIKUMS:** Lai vienkāršotu analīzi un palielinātu precizitāti, mēs iesakām attālumu starpību $d = L_b - L_a$ mērīt ar lielāko precizitāti, nekā atsevišķos attālumus L_b un L_a mērīšanas precizitāte. Citiem vārdiem sakot, nerēķini d kā izmērīto lielumu L_b un L_a starpību, bet mēri to *tieši*. Izmantojot burtu apzīmējumus, norādi, kādus instrumentu Tu izmantoji, veicot šos mērījumus.

Neaizmirsti atzīmēt mērījumu kļūdas.

Uzdevums 1.4. Datu apstrāde (3.25 punkti). Izmantojot iepriekš doto informāciju, Tev ir jāatrod L_0 , l_{0R} , l_{0L} un, protams, lāzera starojuma viļņa garumu λ .

- Izveido metodi, kā šos lielumus noteikt. Uzraksti tās izteiksmes un/vai vienādojumus, kuru Tu lietoši.
- Tu vari izmantot tabulu 1 vai pierakstīt rezultātus kādā citā tabulā sev vēlamā formā. Vienīgi pārliecinies, ka ir precīzi norādīts, kādi lielumi ir doti Tavu tabulu kolonnās.
- Attēlo grafiski uz asīm atliekot tos lielumus, kas ir visērtākie, lai viektu datu apstrādi. Veido grafikus uz milimetru papīra.
- Uzraksti iegūtās lielumu l_{0R} un l_{0L} vērtības, un norādi precizitāti, ar kādu Tu esi šos lielumus ieguvis.

1.5. Lāzera starojuma viļņa garuma λ aprēķins.

Uzraksti lāzera starojuma viļņa garuma izrēķināto vērtību. Parādi ar kādu precizitāti λ ir noteikts un norādi metodi, kā šī precizitāte ir novērtēta. **IETEIKUMS:** iegūtajā izteiksmē priekš λ visur, kur parādās $(L_b - L_a)$, aizstāj to ar d un aprēķinos izmanto izmērītās d vērtības. (2 punkti)

Eksperimentālās kārtas 2. uzdevums


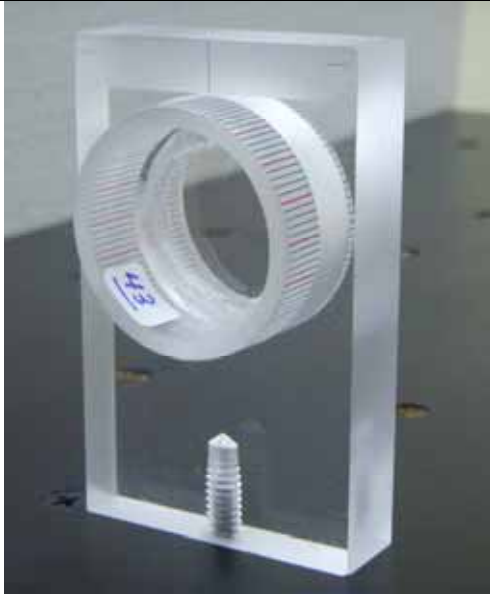
Vizlas plāksnītes dubultlaušana

Šajā eksperimentā Tavs uzdevums būs mērīt gaismas dubultlaušanu vizlā (kristāliska viela, kas tiek plaši izmantota, lai veidotu gaismas polarizāciju mainošas optiskās komponentes).

Piederumi un materiāli

Papildus punktos 1), 2) un 3) minētajiem piederumiem Tev būs jāizmanto:

14. Divi polarizatori, kas ir iestiprināti slaidu rāmīšos. Katram no tiem ir savs no organiskā stikla veidots turētājs (apzīmēts ar J). Attēlā ir parādīts, kā šo turētāju var nostiprināt.
15. Plāna vizlas plāksnīte, kas ir iestiprināta organiskā stikla cilindrā (apzīmēts ar K). Uz cilindra malas ir skala, taču uz tās nav norādīts iedaļas lielums. Cilindrs ir nostiprināts organiskā stikla turētājā. Attēlā ir parādīts, kā šo turētāju var nostiprināt.
16. Fotodetektors (apzīmēts ar L), kas atrodas plastmasas kastē. Kastē ir divi kontakti detektora pieslēgšanai multimetram. Papildus stabilitātei mērījumu laikā, fotodetektoru saturošā plastmasas kaste ir nostiprināma mīkstā pamatnē.
17. Kalkulators
18. Baltas papīra piezīmju lapiņas, līmlente, līmlapiņas, šķēres, taisnleņķa trīstūris.
19. Zīmulis, papīrs un milimetru papīrs

	
<p>Polarizatori, kas ir iestiprināti organiskā stikla turētājā (apzīmēts ar J)</p>	<p>Plāna vizlas plāksnīte, kas ir iestiprināta organiskā stikla cilindrā. Uz cilindra malas ir skala, uz kuras nav norādīts iedaļas lielums. Cilindrs ir nostiprināts organiskā stikla turētājā (apzīmēts ar K)</p>

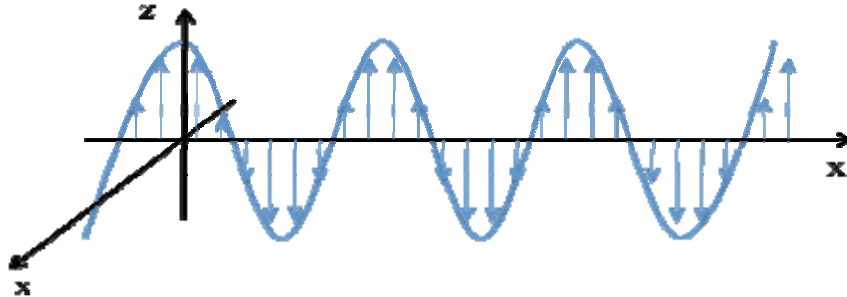


Plastmasas kastē ievietots fotodetektors. Savienojuma vadi un mīksta plastmasas pamatne. Fotodetektoram ir pieslēgts multimetrs, lai mērītu fotodetektora (apzīmēts ar L) spriegumu. Pieslēdz fotodetektoru pie multimetra tā, kā parādīts attēlā!

PARĀDĪBAS APRAKSTS

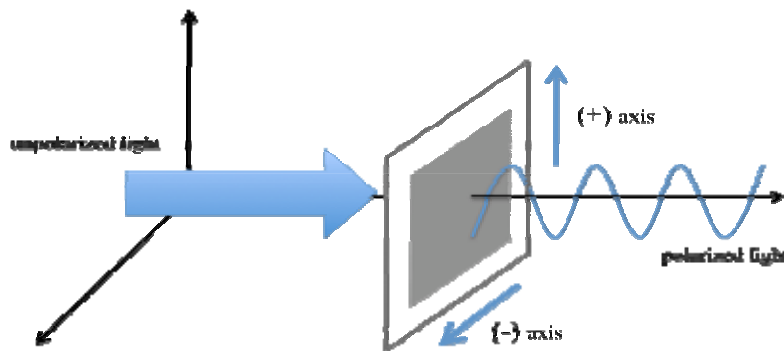
Kā zināms, gaisma ir elektromagnētiskais šķērsvilnis. Elektriskais lauks šajā vilnī atrodas plaknē, kas ir perpendikulāra viļņa izplatīšanās virzienam. Vilnim izplatoties, elektriskais lauks oscilē laikā.

Ja elektriskais lauks gaismas vilnī oscilē gar vienu noteiktu virzienu, saka ka gaisma ir lineāri polarizēta. Lineāri polarizēta gaisma ir parādīta attēlā 2.1.



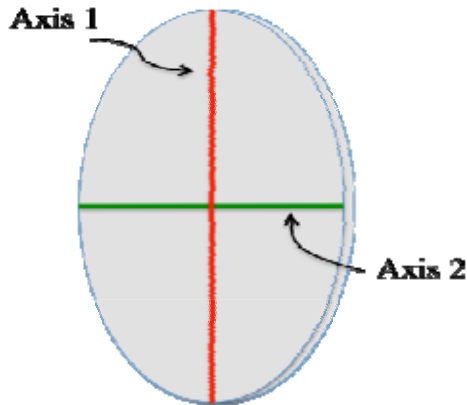
Attēls 2.1. Gaisma vilnis, kas izplatās x-ass virzienā un ir lineāri polarizēts gar z-asi.

Polarizācijas filtrs (vai vienkārši polarizators) ir plāna plāksnīte, kurā eksistē īpaša plāksnītes virsmai paralēla ass. Gaismai izejot cauri polarizatoram, tā kļūst polarizēta polarizatora ass virzienā. Šo īpašo asi apzīmēsim ar (+). Ar (-) apzīmēsim šai īpašajai asij perpendikulāru asi.



Attēls 2.2 Nepolarizēta gaisma krīt perpendikulāri polarizatoram. Cauri izgājusī gaisma ir lineāri polarizēta polarizatora (+) virzienā.

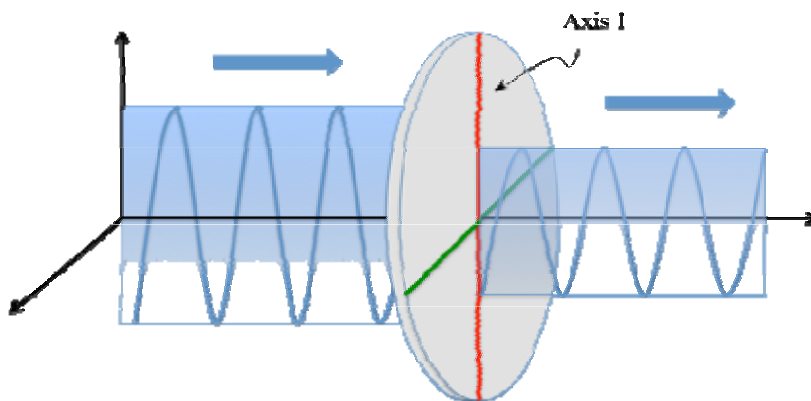
Parasti caurspīdīgi materiāli, piemēram, loga stikls, gaismai izplatoties caur to, nemaina gaismas polarizāciju. Tas notiek tādēļ, ka stikla laušanas koeficients nav atkarīgs no tā, kādā virzienā stiklā gaisma izplatās un kā tā ir polarizēta. Taču ir kristāli, tādi kā vizla, kuru īpašības ir atkarīgas no tā, kādā virzienā šajā kristālā notiek elektriskā lauka svārstības. Ja gaisma vizlā izplatās perpendikulārā virzienā pret kristāla virsmu, vizlā var izdalīt divas savstarpēji perpendikulāras ass, kas ir paralēlas vizlas plāksnītes virsmai. Sauksim šīs ass Ass 1 un Ass 2. Šo asu eksistence noved pie parādības, kuru sauc par dubultlaušanu.



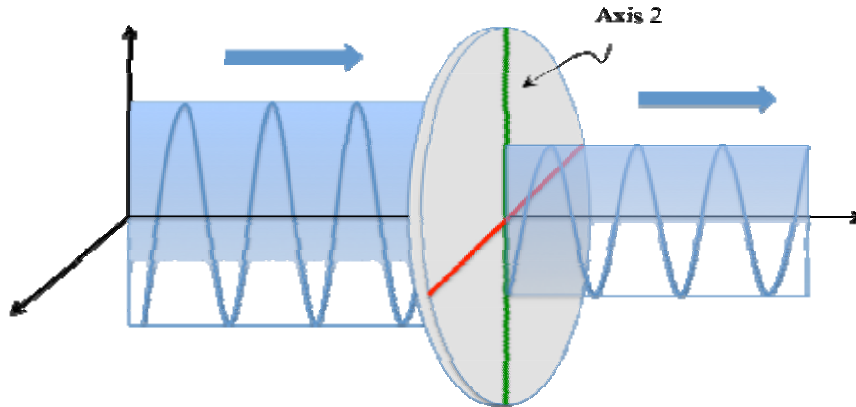
Attēls 2.3. Plāna vizlas plāksnīte, kurā ir parādītas divas asis, Ass 1 (sarkana) un Ass 2 (zaļa).

Lai izskaidrotu dubultlaušanas parādību, analizēsim divus gadījumus. Pieņemsim, ka gaismas vilnis ir **polarizēts vertikālā virzienā**. Tas krīt perpendikulāri vizlas plāksnītes virsmai.

Pirmais gadījums. Vizlas plāksnītes Ass 1 (vai Ass 2) ir paralēla gaismas polarizācijas virzienam. Ja gaisma izplatās caur šo plāksnīti, tad tās polarizācija nemainās. Taču atkarībā no tā, kura no vizlas plāksnītes asīm ir paralēla gaismas polarizācijas virzienam, gaismas izplatīšanos vizlā raksturo ar laušanas koeficientu n_1 vai n_2 . Iespējamās situācijas ir parādītas attēlos 2.4 un 2.5.

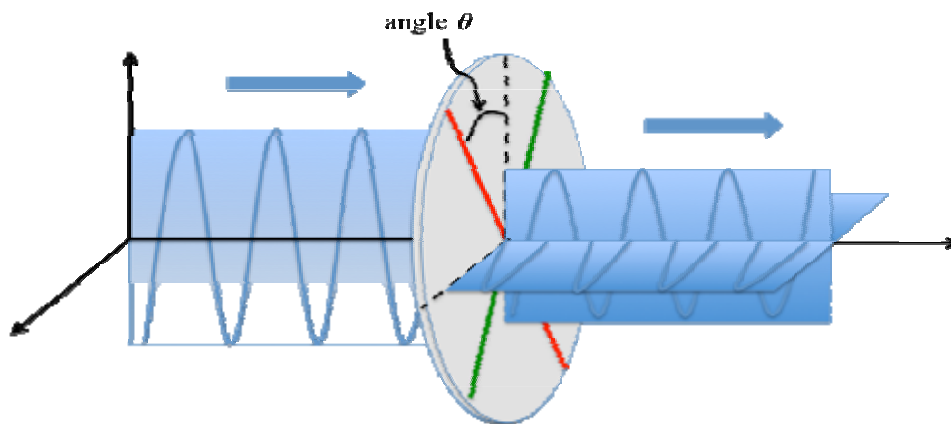


Attēls 2.4. Vizlas plāksnītes Ass 1 ir paralēla gaismas polarizācijas virzienam. Gaismas izplatīšanos raksturo laušanas koeficients n_1 .



Attēls 2.5. Vizlas plāksnītes Ass 2 ir paralēla gaismas polarizācijas virzienam. Gaismas izplatīšanos raksturo laušanas koeficients n_2 .

Otrais gadījums. Vizlas plāksnītes Ass 1 veido leņķi θ ar krītošās gaismas polarizācijas virzienu. Caur vizlas plāksnīti izgājušās gaismas polarizācija veidojas nedaudz sarežģītāk. Šajā gadījumā caurizgājušo gaismu var apskatīt kā divu ortogonālu viļņu superpozīciju. Viens no šiem viļņiem ir polarizēts **paralēli** krītošās gaismas polarizācijas virzienam (vertikāli). Otrs no šiem viļņiem ir polarizēts **perpendikulāri** krītošās gaismas polarizācijai (horizontāli).



Attēls 2.6. Vizlas plāksnītes Ass 1 veido leņķi θ ar krītošās gaismas polarizācijas virzienu.

Ar I_p apzīmēsim gaismas intensitāti, kas ir izgājusi cauri vizlas plāksnītei un ir polarizēta paralēli krītošās gaismas polarizācijas virzienam. Ar I_o apzīmēsim gaismas intensitāti, kas ir izgājusi cauri vizlas plāksnītei un ir polarizēta perpendikulāri krītošās gaismas polarizācijas virzienam. Abas šīs intensitātes ir atkarīgas no leņķa θ , no krītošās gaismas viļņa garuma λ , no vizlas plāksnītes biezuma L , un no laušanas koeficientu starpības absolūtās vērtības $|n_1 - n_2|$. Šī



starpība tiek saukta par vielas *dubultlaušanas stiprumu*. Vielas dubultlaušanas stipruma skaitliskās vērtības noteikšana ir šī uzdevuma galvenai mērķis. Dažādas vielas, kam piemīt dubultlaušana tiek izmantotas, lai pārveidotu gaismas polarizāciju.

Jāatzīmē, ka gaismas detektors mēra tikai gaismas intensitāti. Tas nav jutīgs pret gaismas polarizācijas virzienu.

Gaismas komponentu $I_p(\theta)$ un $I_o(\theta)$ atkarība no leņķa θ ir sarežģīta vairāku papildus efektu dēļ, kas nav iekļauti veiktajā analīzē. Piemēram, šo atkarību var ietekmēt gaismas absorbcija vizlas kristālā. Tomēr, neskatoties uz šo sarežģīto atkarību, ir iespējams iegūt ļoti vienkāršu tuvinātu izteiksmi, kas ļauj darbā izmantot normētās gaismas intensitātes $\bar{I}_p(\theta)$ un $\bar{I}_o(\theta)$, kuras tiek definētas kā

$$\bar{I}_p(\theta) = \frac{I_p(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.1)$$

un

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{I_o(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.2)$$

Var parādīt, ka šīs normētās gaismas intensitātes aptuveni pakļaujas sakarībām:

$$\bar{I}_p(\theta) = 1 - \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.3)$$

un

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.4)$$

Šajās formulās $\Delta\phi$ ir fāžu starpība starp paralēli un perpendikulāri sākotnējam polarizācijas virzienam caurizgājušajiem viļņiem. Šo fāžu starpību var atrast kā

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad (2.5)$$

kur L ir vizlas plāksnītes biezums, λ -- krītošās gaismas viļņa garums un $|n_1 - n_2|$ ir dubultlaušanas stiprums.



Eksperimentālā iekārta

Uzdevums 2.1 Eksperimentālās iekārtas projektēšana intensitāšu mērīšanai.

Izdomā un uzskicē eksperimentālo iekārtu, kas ļauj izmērīt intensitātes I_p and I_o lāzera gaismai (pēc izešanas caur dubultlauzošu kristālu) atkarībā no leņķa θ , kas tiek mērīts no optiskās ass (1 vai 2), skatīt zīmējumu 2.6. *Zīmējumā ar burtiem, kas ir piešķirti dažādiem iekārtas elementiem, atzīmē šo elementu novietojumu uz optiskā galda.* Izmanto apzīmējumus (+) un (–) polarizatoru virzienu apzīmēšanai. Vari papildināt atbildi ar papildus vienkāršiem zīmējumiem, kas paskaidro Tavas iekārtas uzbūvi.

Uzdevums 2.1 a) Iekārta I_p mērīšanai (0.5 punkti)

Uzdevums 2.1 b) Iekārta I_o mērīšanai (0.5 punkti)

Lāzestara noregulēšana. Novietojiet lāzera staru tādā veidā, lai tas ir paralēls galda virsmai un iziet gar cilindra asi, kurā ir iestiprināta vizlas plāksne. Lai būtu vieglāk sekot līdz lāzera stara gaitai, izmantojiet baltās papīra lapiņas. Mazas korekcijas stara gaitā var veikt regulējot spoguļi.

Fotodetektors un multimetrs. Fotodetektors rada spriegumu, ja uz tā krīt gaisma. Šī sprieguma mērīšanai ir domāts piedāvātais multimetrs. Spriegums detektora izejā ir proporcionāls gaismas intensitātei. Tādēļ gaismas intensitātes šajā darbā tiek mērītas un pierakstītas voltos. Ja nav lāzera stara, kas trāpa detektorā, tas tomēr uzrāda fona gaismas intensitāti. Šim fonam jābūt mazākam par 1 mV. Mērot intensitātes, šis fons ir jāignorē, tas *nav jāatskaita* no izmērītās intensitātes, kas nāk no lāzera.

BRĪDINĀJUMS: Lāzera stars pats par sevi jau ir daļēji polarizēts kādā nezināmā virzienā. Tādēļ, lai iegūtu pēc iespējas stiprāku polarizēto gaismu, izvēlies, kuru polarizatora asi, (+) vai (–), Tu novietosi vertikāli. Mērķis ir iegūt pēc iespējas stiprāku gaismu cauri polarizatoram pirms tiek pievienoti jebkādi citi optiski elementi.



INTENSITĀŠU MĒRĪJUMI

Uzdevums 2.2. Pagrieziena leņķa skala. Uz cilindra, kurā ir iestiprināta vizlas plāksne, ir atzīmētas iedaļas ar vienmērīgu soli. Tās ir domātas, lai varētu nolasīt leņķi, kurā ir pagriezts cilindrs. Pierakstiet šīs skalas mazākās iedaļas vērtību grādos (t.i., leņķisko attālumu starp divām secīgām melnajām iedaļām). **(0.25 punkti)**.

Leņķa θ atskaites punkta jeb optisko asu pozīcijas aptuvena noteikšana.

Lai atvieglotu mērījumu apstrādi, ir ļoti svarīgi noskaidrot leņķu nulles pozīciju. Tādēļ mēs piedāvājam, ka Tu nosaki pozīciju vienai no optiskajām asīm un nosauc to par Asi 1. Gandrīz noteikti šī ass nesakrītīs precīzi ar iedaļas līniju uz cilindra. Tādēļ atrodi tuvāko iedaļas līniju uz cilindra malas kā pirmo tuvinājumu leņķu atskaites punktam (nullei). Leņķus, kas izmērīti no šīs izvēlētas iedaļas apzīmēsim ar $\bar{\theta}$. Zemāk mēs prasām noteikt leņķa θ atskaites punktu precīzāk.

Uzdevums 2.3. I_p un I_o . mērīšana. Izmēri intensitāti I_p un I_o tik daudzām $\bar{\theta}$ vērtībām, cik uzskati par nepieciešamu. Pieraksti savus mērījumus tabulā I. Pacenties, lai pie fiksētā $\bar{\theta}$ Tu izmērītu gan I_p , gan I_o nemainot cilindra stāvokli pa vidam. **(3.0 punkti)**

Uzdevums 2.4. Leņķa θ precīzāka atskaites punkta noteikšana.

Leņķa θ atskaites punktu (nulli) nosaka Ass 1. Kā jau minēts, ir praktiski neiespējami, ka Ass 1 sakrīt ar iedaļas atzīmi uz cilindra. Lai noskaidrotu leņķu atskaites punktu, Tu vari izmantot grafisko vai skaitlisko metodi. Ievēro, ka maksimuma vai minimuma tuvumā ir spēkā paraboliska sakarība

$$I(\bar{\theta}) \approx a\bar{\theta}^2 + b\bar{\theta} + c$$

Parabolas minimums ir atrodams pie argumenta vērtības

$$\bar{\theta}_m = -\frac{b}{2a}.$$

Gan viena, gan otra metode dos noteiktu nobīdi $\delta\bar{\theta}$ visām izmērītām $\bar{\theta}$ vērtībām, kas ir iekļautas tabulā I no uzdevuma 2.3. Tagad tās var pārrēķināt kā θ , kas tiek mērīta no atbilstošā precīzi noteiktā atskaites punkta $\theta = \bar{\theta} + \delta\bar{\theta}$. Pieraksti nobīdes $\delta\bar{\theta}$ vērtību grādos **(1.0 punkts)**.

**DATU APSTRĀDE****Uzdevums 2.5. Piemērotās lielumu kombinācijas izvēle.**

Izvēlies, kuru lielumu, $\bar{I}_p(\theta)$ vai $\bar{I}_o(\theta)$, Tu lietosi lai atrastu fāzu nobīdi $\Delta\phi$. Uzraksti mainīgos (lielumu kombinācijas), kuros Tu izmantosi savā datu apstrādē. **(0.5 punkti)**

Uzdevums 2.6. Datu apstrāde un fāžu nobīde.

- Izmanto Tabulu II, lai pierakstītu mainīgo vērtības, kuras Tu izmantosi datu apstrādē. Pārliecinies, ka Tu lieto θ vērtības ar pareizo atskaites punktu. Norādi kļūdas. Izmanto milimetru papīru, lai attēlotu Tevis izvēlētos mainīgos. **(1.0 punkts)**.
- Apstrādā datus, lai iegūtu fāžu starpību $\Delta\phi$. Savos rezultātos norādi arī kļūdas. Pieraksti visus vienādojumus vai formulas, ko esi lietojis savā datu apstrādē. Uzzīmē savus rezultātus. **(1.75 punkti)**.
- Aprēķini fāžu starpību $\Delta\phi$ radiānos, iekļaujot tās kļūdu. Nosaki fāžu nobīdes vērtību intervālā $[0, \pi]$. **(0.5 punkti)**

Uzdevums 2.7. Dubultlaušanas stipruma $|n_1 - n_2|$ aprēķins.

Tu būsi ievērojis, ka pieskaitot $2N\pi$ fāžu nobīdei $\Delta\phi$, kur N ir vesels skaitlis, vai mainot šī lieluma zīmi, intensitātes nemainās. Tai pašā laikā, atbilstošās dubultlaušana stipruma vērtības $|n_1 - n_2|$ izmainīsies gan. Tādēļ, lai korekti aprēķinātu no uzdevuma 2.6 rezultātiem dubultlaušanas stiprumu, jāņem vērā sekojošās sakarības:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{ja} \quad L < 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$

vai

$$2\pi - \Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{ja} \quad L > 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$

kur vizlas plāksnītes biezuma vērtība L ir uzrakstīta uz cilindra, kurā tā ir iestiprināta. Šis lielums ir dots mikrometros (1 mikrometrs = 10^{-6} m). Pieņem, ka lieluma L kļūda ir 1×10^{-6} . Kas attiecas uz lāzera starojuma viļņa garumu, Tu vari lietot vērtību, kuru Tu esi noteicis uzdevumā 1. Tās vietā drīkst lietot vidējo vērtību starp 620×10^{-9} m un 750×10^{-9} m, kas ir literatūrā atrodams sarkanās krāsas robežas redzamajā spektrā. Pieraksti formulas, kuras Tu lietoji, lai aprēķinātu kļūdas.

(1.0 punkts)