



Projekts	<i>Fizikas bakalaura studiju attīstība Latvijas Universitātē</i>
Projekta līguma Nr.	2005/0110/VPD1/ESF/PIAA/04/APK/3.2.3.2/0029/0063
LU reģistrācijas Nr.	ESS 2005/6

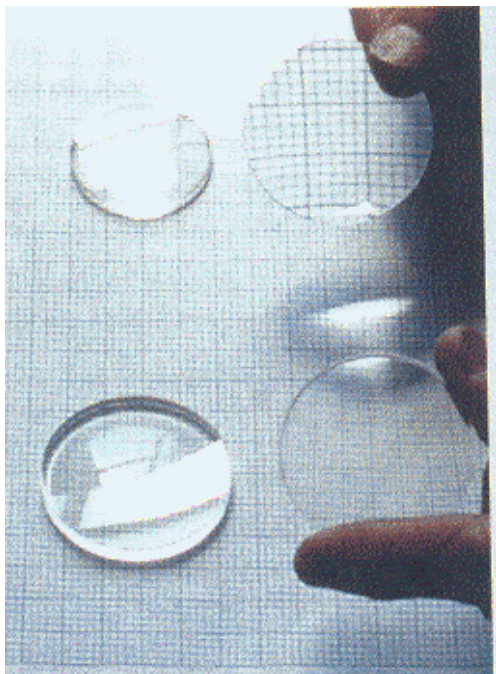
Latvijas Universitāte
Fizikas un matemātikas fakultāte

OPTIKAS LABORATORIJA Fizi 2234
R.Ferbers

2. laboratorijas darbs

PLĀNĀS LĒCAS

2. PLĀNĀS LĒCAS



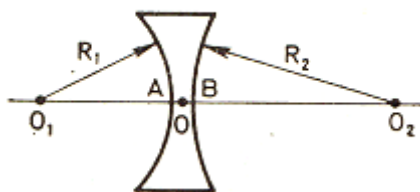
Darba mērķi

1. Izprast plānās lēcas darbību, to raksturojošos parametrus un lēcu formulas.
2. Gūt iemaņas attēlu iegūšanā dažāda tipa plānās lēcās un vienkāršās lēcu sistēmās.
3. Fokusa attāluma noteikšana dažāda tipa (pozitīvām un negatīvām) plānām lēcām.
4. Iepazīties ar visvienkāršāko uz plānās lēcas darbības balstīto optisko instrumentu – lupu un noteikt tās palielinājumu.

1. Teorētiskais apskats

1.1. Ievads

Caurspīdīgu ķermeni, kuru no abām pusēm norobežo sfērisku virsmu segmenti, vai arī no vienas puses sfērisks segments, bet no otras – plakana virsma, sauc par **lēcu**. Optikā visbiežāk izmanto sfēriskas lēcas. Izšķir divu veidu lēcas: 1) pozitīvas (tās ir izliektas, sakopujošas). Šīm lēcām vidusdaļa ir biezāka nekā malas, 2) negatīvas (ieliektas, izkliedējošas). Negatīvām lēcām vidusdaļa ir plānāka nekā malas (1.att.).

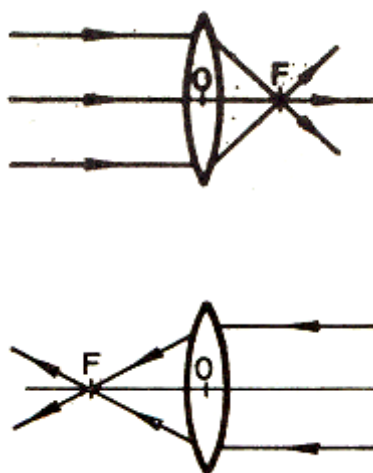


1.att. Plāna lēca

Ja attālums AB (1.att) starp sfērisko virsmu segmentu virsotnēm ir mazs, salīdzinot ar virsmu liekumu rādiusiem R_1 un R_2 , tad lēcu sauc par **plānu lēcu**.

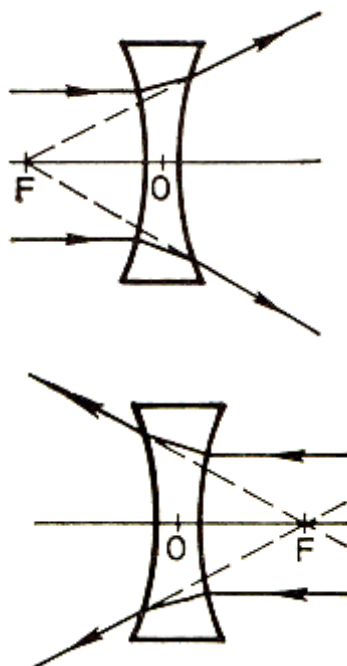
1.2. Svarīgākie jēdzieni un formulas

Taisni O_1O_2 (1.att.), kas iet caur lēcu sfērisko virsmu centriem, sauc par lēcas **galveno optisko asi**, bet pārējās par **blakusasīm**. Nogriežņa AB visduspunktu O sauc par lēcas **optisko centru**.

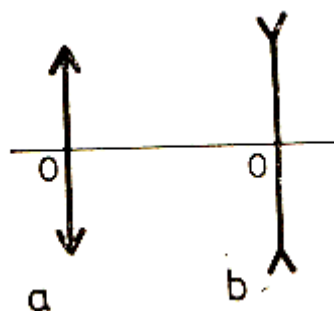


2.att. Lēcu fokusi

Ja uz stikla lēcu, kas atrodas gaisā, krīt stari paralēli galvenajai optiskajai asij, tad pēc iziešanas no lēcas šie stari saiet kopā punktā F uz galvenās optiskās ass (2.att.). Šo punktu sauc par lēcas **galveno fokusu**. Ja uz 3.attēlā redzamo stikla lēcu krīt stari paralēli galvenajai optiskajai asij, tad pēc iziešanas no lēcas stari izklīst, bet staru turpinājumi saiet kopā punktā F uz galvenās optiskās ass. Šo punktu sauc par lēcas **šķietamo fokusu**.

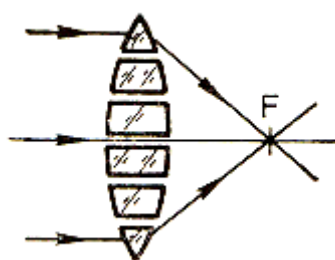


3.att. Lēcu šķietamie fokusi



4.att. Lēcu apzīmējumi optiskajās konstrukcijās.

Turpmāk aplūkosim tikai plānas lēcas. Lēcu apzīmējumi optiskajās konstrukcijās doti 4.attēlā (a – savācējlēca, b – izkliedētājlēca). Aplūkojot gaismas staru lūšanu lēcā, redzam, ka tā notiek tāpat kā prizmā, jo var uzskatīt, ka lēca sastāv no vairākām prizmām (5.att.). Vidusdaļā lēca būtībā ir ir plakanparalēla plāksne. Tādēļ vidējais stars, izejot no lēcas, savu virzienu nemaina. Tā kā lēca ir plāna, tad uz vidusdaļu krītošie slīpie stari arī savu virzienu nemaina pēc izešanas no lēcas, jo izejošā stara nobīde no ieejošā stara ir niecīga. Turpretim, malējie stari noliecas uz prizmas pamata pusi un pēc lūšanas tie iet caur fokusu F.



5.att. Lēca.

Var teikt, ka katru lēcu raksturo lielums OF (2., 3.att.), kuru sauc par **fokusa attālumu**.

Apgriezto lielumu lēcas fokusa attālumam sauc par **optisko stiprumu** un apzīmē ar burtu D.

$$D = \frac{1}{F} \quad (1)$$

Ja lēcas fokusa attālums ir 1 m, tad tās optiskais stiprums ir 1 dioptrijs (m^{-1}).

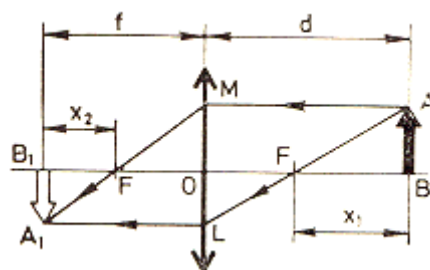
Ja plāna lēca atrodas vidē, kuras gaismas laušanas koeficients ir n_v , tad lēcas optisko stiprumu aprēķina pēc formulas

$$D = \left(\frac{n_l}{n_v} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (2)$$

kur n_l – lēcas materiāla laušanas koeficients, R_1 un R_2 - lēcas sfērisko virsmu liekuma rādiusi.

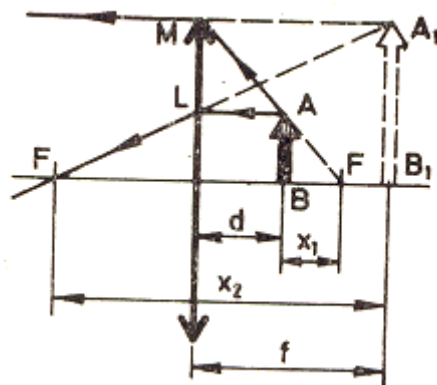
Jāņem vērā, ka izliektai virsmai R ir pozitīvs skaitlis, bet ieliektai – negatīvs. Ja viena lēcas virsma ir plakana, tādā gadījumā lielums $1/R = 0$.

Laboratorijas darba apraksta beigās Pielikumā 1.tabulā parādītas dažas lēcas un raksturoti to veidi.



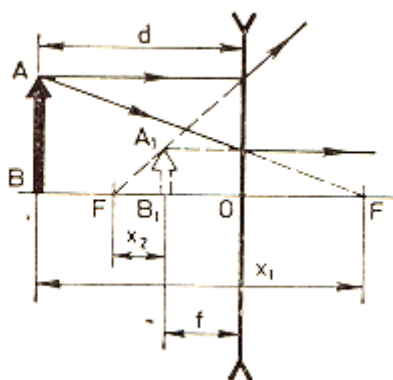
6.att. Attālumu apzīmējumi lēcās.

Svarīgi iepazīties arī ar dažām lēcas raksturojošām sakarībām. Tam nolūkam izmantosim attēlus (6.,7.,8.att.), kuros sniegti arī attālumu apzīmējumi. 6.attēlā x_1 – priekšmeta attālums līdz lēcas fokusam, kas atrodas tajā lēcas pusē, kurā atrodas priekšmets, x_2 – attēla attālums līdz lēcas fokusam tajā lēcas pusē, kurā atrodas attēls. Savācējlēcas gadījumā šķietamā attēla attālums x_2 jāmēra līdz lēcas aizmugurējam fokusam (7.att.).



7.att. Staru gaita lēcā.

Izkliedētājlēcā x_1 ir priekšmeta attēla attālums līdz aizmugurējam fokusam, bet x_2 – attēla attālums līdz priekšējam fokusam (fokusi ir šķietami).



8.att. Staru gaita izkliedētājlēcā..

Aplūkojot 6.attēlu, no trijstūru AFB un FLO līdzības seko, ka $\frac{OL}{AB} = \frac{F}{x_1}$. Bet no trijstūru

A_1FB_1 un FOM līdzības - $\frac{A_1B_1}{OM} = \frac{x_2}{F}$. Tā kā $OM = AB$ un $OL = A_1B_1$, tad

$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{F}{x_1} \quad \text{un} \quad \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{x_2}{F},$$

$$x_1 \cdot x_2 = F^2 \tag{3}$$

Izmantojot šīs sakarības, var izdarīt dažus nozīmīgus secinājumus par attēla atrašanās vietu:

1. Attālinot priekšmetu no lēcas, reālais attēls tuvojas lēcas aizmugurējam fokusam.
Ja $x_1 \rightarrow \infty$, tad $x_2 \rightarrow 0$.

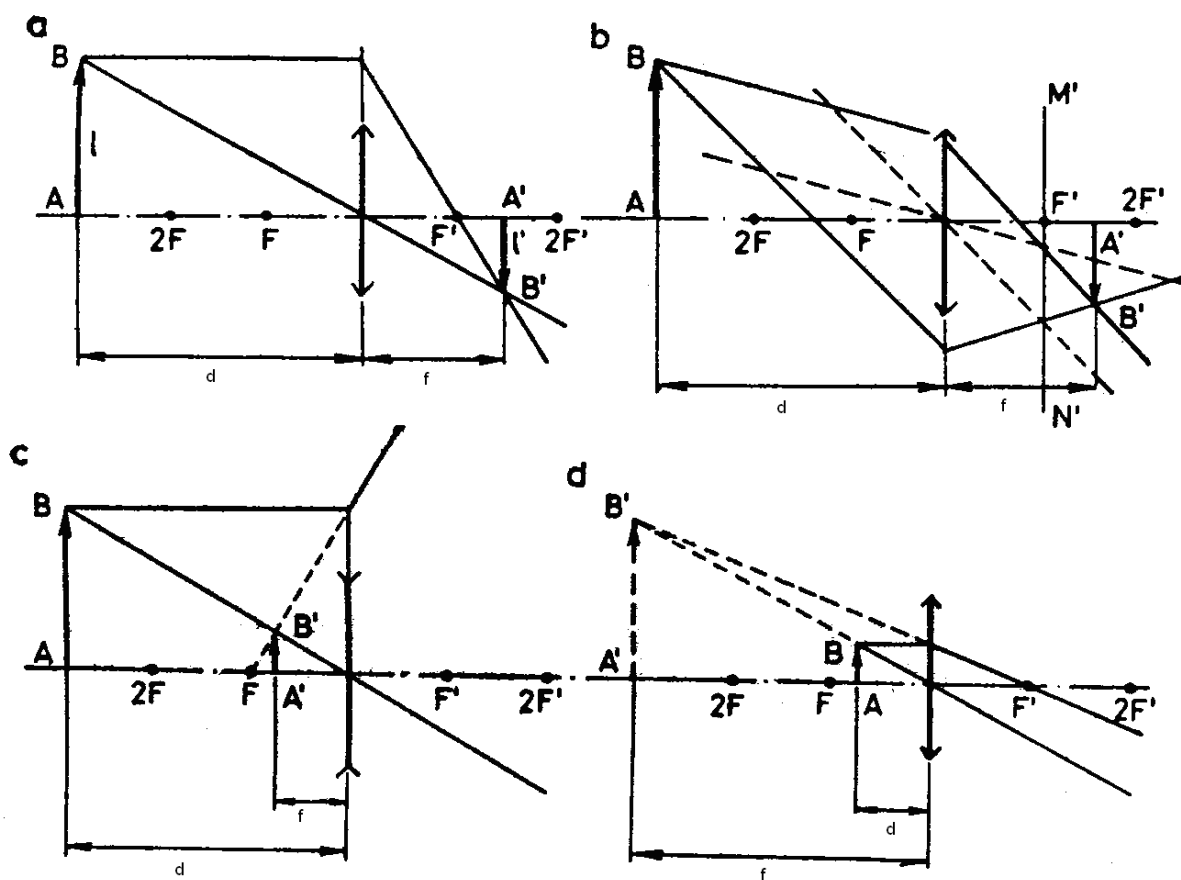
2. Ja priekšmets atrodas lēcas fokusā, tad attēla nav. Ja $x_1 = 0$, tad nav iespējama tāda x_2 vērtība, kura apmierinātu sakarību $x_1 \cdot x_2 = F^2$.
3. Ja priekšmetu tuvina savācējlēcas fokusam, tad šķietamais attēls attālinās no lēcas.
4. Ja priekšmetu tuvina izkliedētājlēcas fokusam, tad arī attēls tuvojas lēcai. Ja $x_1 \rightarrow F$, tad arī attēls tuvojas lēcai. Ja $x_1 \rightarrow F$, tad arī $x_2 \rightarrow F$.

Ja priekšmeta attālums līdz lēcai ir d , bet attēla attālums līdz lēcai $-f$ (7.att.), tad $x_1 = d - F$ un $x_2 = f - F$. Ievietojot šīs sakarības izteiksmē (3), iegūstam lēcas formulu

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (4)$$

Jāievēro, ka šķietama attēla gadījumā f ir negatīvs lielums.

9. attēlā un Pielikuma 2.tabulā doti daži piemēri par attēla veidošanos lēcā.



9.att. Attēla veidošanās plānā lēcā.

Viens no nozīmīgākajiem plānu lēcu raksturojošiem lielumiem ir attēla lineārais palielinājums Γ . To izsaka ar attēla un priekšmeta lineāro izmēru attiecību

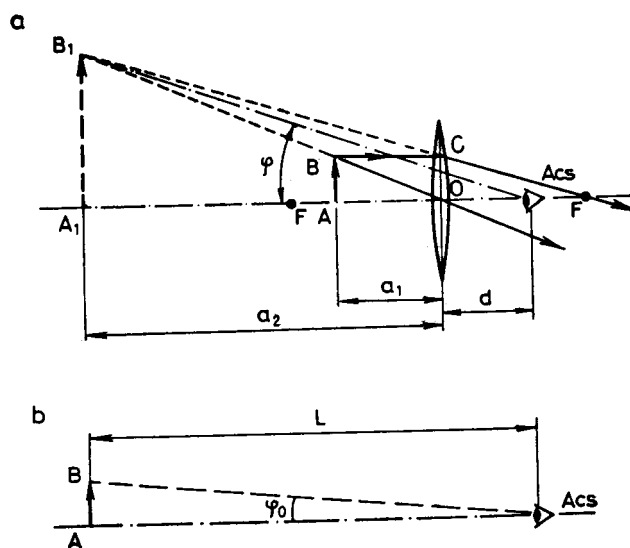
$$\Gamma = \frac{A_1 B_1}{AB} \quad (5)$$

No līdzīgiem trijstūriem (6.att.) izriet, ka $\frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{f}{d}$. Tātad lineāro palielinājumu var aprēķināt pēc formulas

$$\Gamma = \frac{f}{d}. \quad (6)$$

Lupa

No lēcām, spoguļiem un prizmām veido daudz un dažādus optiskos instrumentus. Lai varētu atšķirt aplūkojamā priekšmeta sīkās detaļas, jābūt pietiekami lielam redzes leņķim. Visvienkāršāk redzes leņķi var palielināt ar savācējlēcu, kuru sauc par *lupu*. Attēla veidošanās lupā redzama 10. attēlā. Pēc būtības lupa ir plāna izliekta lēca vai arī lēcu sistēma, kas darbojas kā izliekta lēca.



10. att. Attēla veidošanās lupā.

Lupu raksturo ar palielinājumu Γ , kas ir redzes leņķu tangensu attiecība

$$\Gamma = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_0} \quad (7)$$

kur φ - leņķis, kādā redzams priekšmeta šķietamais attēls, kas iegūts ar lupu, φ_0 - leņķis, kādā redzams priekšmets ar neapbruņotu aci (10.att.).

Kā attēlā redzams,

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{A_1B_1}{a_2 + d} \quad \text{un} \quad \operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{AB}{L}, \quad (8)$$

kur AB – priekšmeta augstums, A_1B_1 – attēla augstums, a_1 – priekšmeta attālums no lupas, a_2 – attēla attālums no lupas, d – acs attālums no lupas, L – labākās redzes attālums. Ievietojot tangensu izteiksmes lupas palielinājuma formulā, iegūst

$$\Gamma = \frac{A_1B_1}{AB} \frac{L}{a_2 + d}. \quad (9)$$

Tā kā $\frac{A_1B_1}{AB} = \beta$ - lupas lineārais palielinājums, tad

$$\Gamma = \beta \frac{L}{a_2 + d} \quad (10)$$

2. Darba uzdevumi

1. Noteikt izliektas (pozitīvas) lēcas galvenā fokusa attālumu un optisko stiprumu:

- a) ar Besēļa metodi,
- b) izmantojot kolimatoru un mikroskopu.

2. Noteikt galvenā fokusa attālumu un optisko stiprumu divām plānām pozitīvām lēcām katrai atsevišķi un šo lēcu sistēmai. Pārbaudīt lēcu sistēmas optiskā stipruma formulu.

3. Noteikt ieliektas (negatīvas) lēcas galvenā fokusa attālumu un optisko stiprumu

- a) Ar Besēļa metodi, izmantojot lēcu sistēmu,
- b) pēc priekšmeta attēla attāluma no lēcas (ar pozitīvas lēcas palīdzību).

4. Noteikt lupas palielinājumu.

3. Darba veikšanas apraksts

1 a. Lēcas fokusa attāluma noteikšana ar Beseļa metodi

Ja apzīmē priekšmeta un attēla savstarpējo attālumu ar c un lēcas pārvietojumu starp palielinātā un pamazinātā attēla stāvokli ar e (12.att.), tad varam rakstīt

Staru gaita lēcas fokusa attāluma F noteikšanai dota 12.attēlā.

Pārbīdot lēcu, uz ekrāna iegūstam gan palielinātu, gan samazinātu priekšmeta attēlu. Abos gadījumos nosakām d un f sk.4.formulu). Palielināta attēla gadījumā iegūstam lielumus d_1' un f_1' , pamazināta attēla gadījumā – d_1'' un f_1'' . No lēcu īpašībām izriet, ka

$$d_1' = f_2'' \quad \text{un} \quad f_2' = d_2''.$$

Tātad

$$d = \frac{d_1' + f_2''}{2} \quad \text{un} \quad f = \frac{f_2' + d_1''}{2}. \quad (11)$$

Ja attālums no priekšmeta līdz ekrānam ir c un lēcas pārvietojums e (sk. 12.att.). Ievietojot šīs izteiksmes formulā (4), varam rakstīt

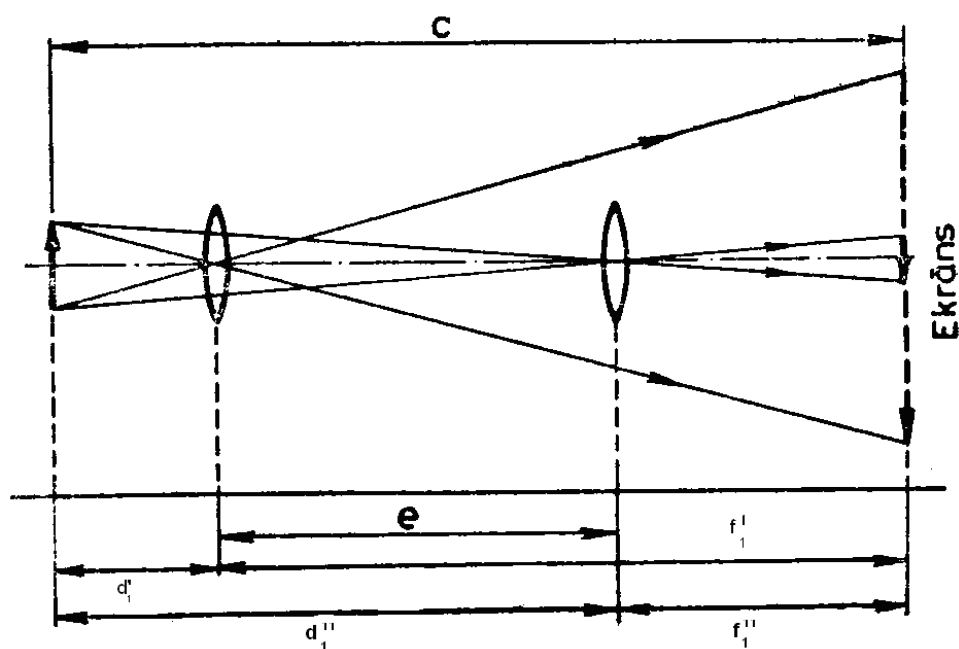
$$F = \frac{1}{4} \left(c - \frac{e^2}{c} \right). \quad (12)$$

Iekārta darba uzdevuma veikšanai redzama 11.attēlā.



11.att. Iekārta lēcu fokusa attāluma noteikšanai.

Iekārtas optiskā shēma lēcas galvenā fokusa attāluma noteikšanai ar Beseļa metodi dota 12.attēlā.



12.att. Lēcas galvenā fokusa attāluma noteikšana ar Beseļa metodi.

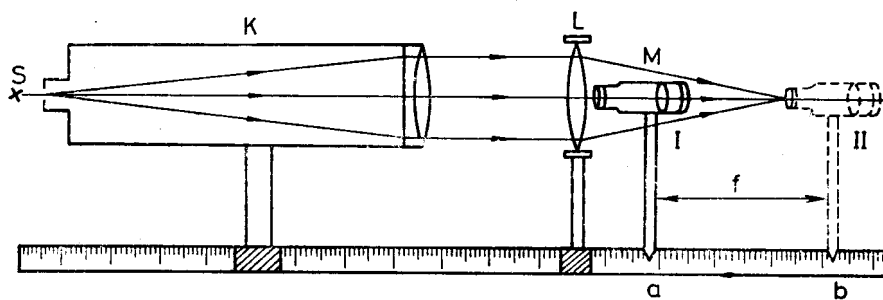
Nosakot negatīvas lēcas fokusa attālumu, izmantojot lēcu sistēmu (Darba uzdevums 3 a), abas lēcas jāievieto vienā turētājā. Izmantojot iegūtos mērījumu rezultātus, aprēķina sistēmas fokusa attālumu (formula (12)) un, zinot iepriekš noteikto izliektās lēcas (pozitīvās) fokusa attālumu, aprēķina ieliektās (negatīvās) lēcas fokusa attālumu.

1 b. Lēcas fokusa attāluma noteikšana ar kolimatoru un mikroskopu



13.att. Iekārta fokusa attāluma noteikšanai ar mikroskopu un kolimatoru.

Iekārtas optiskā shēma dota 14. attēlā.



14.att. Optiskā shēma lēcas fokusa attāluma noteikšanai ar kolimatoru un mikroskopu.

S – gaismas avots, K – kolimators, L – lēca, M – mikroskops.

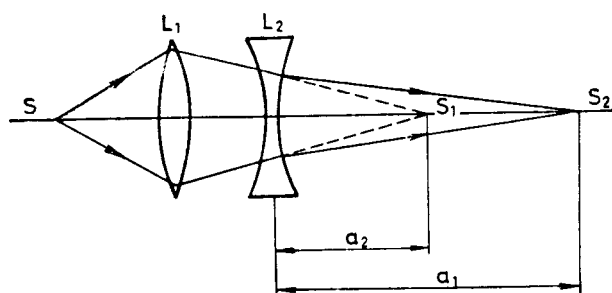
Par kolimatoru sauc optisku sistēmu, kas pārveido punktveida gaismas avota S starus par paralēlu gaismas staru kūli (att.14.). Kolimators sastāv no objektīva, kura fokālajā plaknē var atrasties sprauga, tīkliņš, diafragma, krusts u.c.

Kolimatora K fokālajā plaknē novieto priekšmetu (miras), ko apgaismo ar nelielas jaudas kvēlspuldzi S. No kolimatora K uz lēcu L krīt paralēlu staru kūlis, un lēcas fokālajā plaknē veidojas priekšmeta attēls. Izmērot attālumu starp lēcu un šo attēlu, var noteikt fokusa attālumu.

Precīzāk lēcas fokusa attālumu var noteikt ar horizontāli novietotu mikroskopu. Vispirms mikroskopa fokusē uz lēcas virsmu (mikroskopa M pārvieto sistēmas optiskās ass virzienā, līdz mikroskopa redzes laukā skaidri saredzama lēcas virsma resp. kāds puteklītis uz tās). Atzīmē stāvokli I (a). Tad mikroskopu attālinā no lēcas, līdz tā redzes laukā parādās skaidrs priekšmeta attēls – stāvoklis II (b). Abu nolasījumu a un b starpība būs dotās lēcas fokusa attālums.

2. Ieliektas (negatīvas) lēcas fokusa attāluma noteikšana

Ieliektas lēcas fokusa attāluma noteikšanai optiskā shēma dota 15.attēlā.

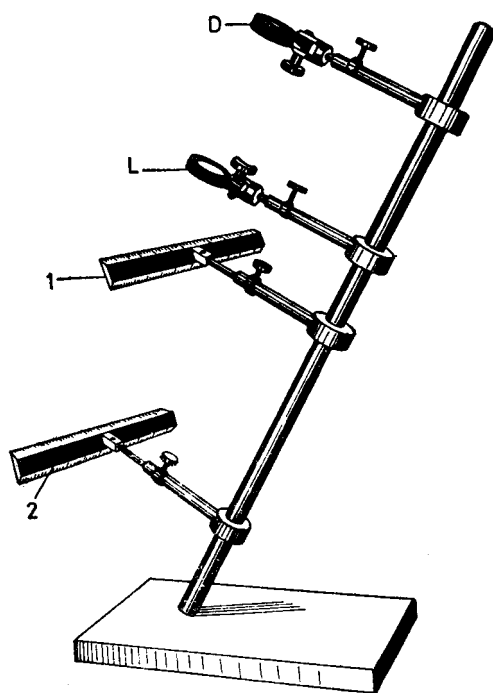


15.att. Optiskā shēma ieliektas lēcas fokusa attāluma noteikšanai.

Ja izliekta lēca L_1 (15.att.) veido punkta S attēlu punktā S_1 , tad, novietojot starp L_1 un punktu S_1 ieliektu lēcu L_2 tā, lai attālums a_2 būtu mazāks par šīs lēcas fokusa attālumu, punkta S attēls pārvietojas uz punktu S_2 . Tā kā staru gaita ir apgriežama, tad varam uzskatīt, ka ieliektā lēca L_2 veido punkta S_2 šķietamu attēlu punktā S_1 . Izmērot attālumus a_2 un a_1 , var aprēķināt ieliektās lēcas fokusa attālumu.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} . \quad (13)$$

3.5. Lupas palielinājuma noteikšana



16.att. Iekārta lupas palielinājuma noteikšanai.

Tālāk, izmantojot 16.attēlā doto iekārtu, nosakām eksperimentāli dotās lupas palielinājumu. Ar vienu aci skatās caur lupu L uz milimetros iedalīta mērlīnēla skalu 1, bet ar otru aci skatās tieši uz otru tādu pašu mērlīnēla skalu 2, kas novietota tikpat tālu no otras acs kā palielinātais attēls no pirmās acs. Ja attēls ir tikpat tālu no pirmās acs kā priekšmets no otrās acs, tad abas ainas, kuras klājas viena otrai pāri ir bez paralakses, t.i., galvu kustinot, šīs ainas viena pret otru nepārvietojas. Ja ir paralakse, tad jāpārvieto vai nu pirmais priekšmets tuvāk lēcai vai tālāk no tās, vai arī otrais priekšmets tuvāk otrai acij vai tālāk no tās, līdz paralakse izzūd. Ja pirmā stieņa n milimetru garš attēls ir m milimetru garš, tad $m/n = \beta$ ir lupas lineārais palielinājums. Lupas subjektīvo palielinājumu nosaka saskaņā ar formulu (14):

$$\Gamma = \frac{m}{n} \frac{L}{l}, \quad (14)$$

kur $l = a_2 + d$.

4. Daži darba uzdevumiem atbilstošo tabulu piemēri

4.1. Lēcas fokusa attāluma noteikšana ar Beseļa metodi





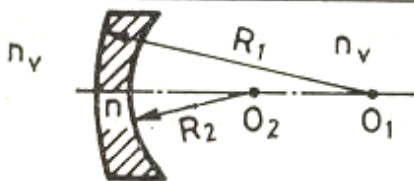
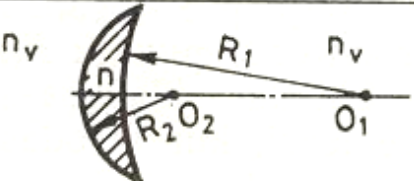
Nr. p.k.	c , cm	e , cm	f , cm	D , dioptrijas

4.2. Lēcas fokusa attāluma noteikšana ar kolimatoru un mikroskopu

Nr.p.k.	a , cm	b , cm	f , cm	D , dioptrijas

Pielikums

1.tabula. Lēcu formas un veidi.

Lēcas forma	Lēcas veids	
	$n > n_v$	$n < n_v$
	Savācējlēca $D > 0$	Izklaidētājlēca $D < 0$
	Izklaidētājlēca $D < 0$	Savācējlēca $D > 0$
	Savācējlēca $D > 0$	Izklaidētājlēca $D < 0$
	Izklaidētājlēca $D < 0$	Savācējlēca $D > 0$
	Izklaidētājlēca $D < 0; R_1 > R_2$	Savācējlēca $D > 0$
	Savācējlēca $D > 0; R_1 > R_2$	Izklaidētājlēca $D < 0$

2.tabula. Attēla veidi, attēla konstrukcijas, pielietojumi.

Priekšmeta novietojums	Attēla veids, lietojums	Attēla konstrukcija
Sāvācējlēca $\infty > d > 2F$ $2F > f > F$	Reāls, apgriezts, samazināts Fotoaparāts, acs	
Savācējlēca $d = 2F$ $f = 2F$	Reāls, apgriezts, vienliels ar priekšmetu	
Savācējlēca $F < d < 2F$ $\infty > f > 2F$	Reāls, apgriezts, palielināts Projekcijas aparāts	
Savācējlēca $d = F$ $f = \infty$	Attēls neveidojas	
Savācējlēca $0 < d < F$ $0 < f < \infty$	Šķietams, tiešs, palielināts Lupa	
Izkliedētājlēca $0 < d < \infty$ $0 < f < F$	Šķietams, tiešs, samazināts	

LITERATŪRA

Mācību pamatliteratūra

1. L.Jansons, A.Zambrāns, A.Badūns, M.Ginters, A.Jansone. Fizikas praktikums, Zvaigzne, Rīga 1979.
2. O.Students. Optika, „Zvaigzne”, Rīga, 1971.
3. Fizika, A.Valtera redakcijā, „Zvaigzne”, Rīga, 1992.

Papildus literatūra

1. Halliday, Resnick, Walker. Fundamentals of Physics John Wiley & Sons, 2001.
2. Douglas C. Giancoli. Physics for Scientists and Engineers (with modern physics), Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2000.
3. V.Branka, J.Krūmiņš, P.Puķītis, E.Tiltiņš. Fizika 12. klasei, „Zvaigzne”, Rīga, 1993.
4. Ā.Deme, V.Rēvalds, O.Šmits. Laboratorijas darbi optikā un spektroskopijā. Rīga, LU, 1979.
5. V.Rēvalds. Optika (no senatnes līdz mūsdienām), „Mācību grāmata”, 2001.

Ieteicamā periodika

1. Žurnāls „Terra”.
2. Physics Today (published monthly by American Institute of Physics; www.physicstoday.org)