

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря СІКОРСЬКОГО»  
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Протокол до лабораторної роботи  
**ВИМІРЮВАННЯ ФОКУСНИХ  
ВІДСТАНЕЙ ЛІНЗ**

Виконали студенти  
групи ФІ-81

Кармазін А.О.  
Корешков М.О.  
Прохоренко О.С.  
Шкаліков О.В.

Перевірив:  
Долгошей В.Б.

## Теоретична частина

Ідеальною оптичною системою називають таку систему, в якій зберігається гомоцентричність пучків і зображень предмета геометрично подібне до самого предмета. Ідеальна оптична система має вісь симетрії, яку називають головною оптичною віссю. Промені, що падають на лінзу паралельно головній оптичній осі, сходяться в задньому фокусі системи в просторі зображень (точка  $F_2$  на рис.1). Промені, що виходять з переднього фокуса системи, що знаходяться в просторі предметів (точка  $F_1$  на рис.1) виходять з системи паралельно до головної оптичної осі. Площина, що проходить через фокус перпендикулярно до головної оптичної осі, називається фокальною площиною.

Розрізняють також головні площини ( $P_1, P_2$ ) та головні точки ( $H_1, H_2$ ) системи. Головна площина перпендикулярна до головної оптичної осі та проходить через точку перетину фокального променя та паралельного променя. Головні точки визначаються як точки перетину головної площини та головної осі. Відстані між головними точками та фокусами називають фокусними відстанями системи:  $f_1 = F_1H_1$ ,  $f_2 = F_2H_2$ . Якщо по обидві сторони від оптичної системи знаходиться одне й теж саме середовище, то  $f_1 = f_2 = f$ .

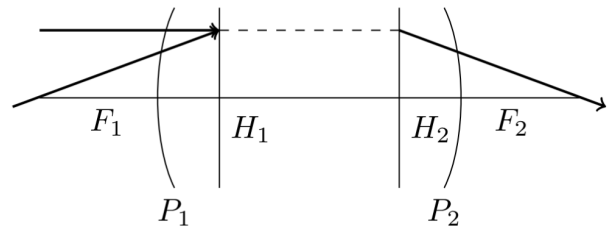


Рис. 1: Хід променів у товстій лінзі

Оптичну систему називають збиральною (позитивною), якщо на виході з неї пучок паралельних променів збирається, тобто задній фокус розташовано за системою, а передній - перед системою відносно напрямку розповсюдження променів. В цьому випадку фокусні відстані є позитивними величинами. На виході з розсіювальної (від'ємної) системи паралельні промені розходяться, задній фокус розташовано перед системою, а передній — за системою, фокусні відстані вважаються від'ємними. Відстань до об'єкта  $g$  та до зображення  $b$  звичайно відраховують від відповідних головних площин ( $P_1, P_2$ , відповідно). Ці величини вважаються позитивними, якщо об'єкт знаходиться перед головною площиною в просторі об'єктів, а зображення — за головною площиною в просторі зображень.

Зауважимо, що головні площини можуть знаходитись як в межах оптичної системи, так і ззовні. В межах геометричної оптики можна вивести просте співвідношення між величинами  $g, b$  та  $f$ : уваги зміну фаз світлової хвилі під час відбиття від гранці поділу скло-повітря, коли показник заломлення першого середовища більше за показник заломлення другого, та під час ввідбиття від гранці повітря-скло, коли навпаки показник заломлення першого середовища менше за показник заломлення другого. Відомо, що для електричного вектора у першому випадку відбиття відбувається без зміни фаз, а в другому призводить до зміни фаз на  $\pi$ , фаза магнітного вектора, навпаки, змінюється на  $\pi$  тільки під час першого відбиття. Таким чином, промені 1 і 2 набувають різниці фаз  $\pi$ , що відповідає додатковій різниці ходу  $\frac{\lambda}{2}$ , а повна різниця ходу:

$$g^{-1} + b^{-1} = f^{-1} \quad (1)$$

На практиці найчастіше застосовуються тонкі лінзи, геометричні розміри яких в напрямку головної оптичної осі значно менші за фокусну відстань. Для тонкої лінзи передня та задня головні площини співпадають і знаходяться приблизно в центрі лінзи. Розглянемо рис.2. На ньому побудовано зображення об'єкта від тонкої збиральної лінзи. З геометричних міркувань очевидно, що коефіцієнт збільшення лінзи  $V$ .

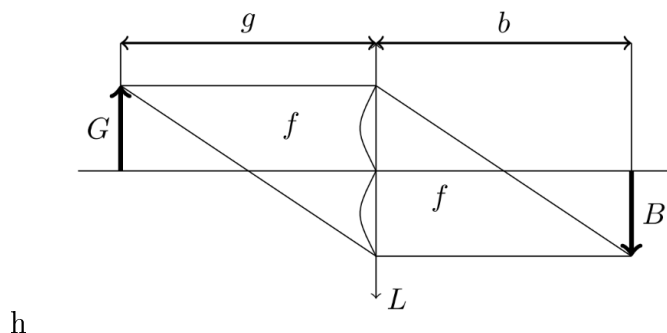


Рис. 2: Побудова геометричного зображення від тонкої збиральної лінзи

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \frac{b-f}{f} \quad (2)$$

За допомогою співвідношення 2 можна переписати формулу 1 через відстані від об'єкта до відповідних фокусів:

$$(b-f)(g-f) = f^2 \quad (3)$$

## Хід роботи

**Мета роботи:** Визначити фокусні та коефіцієнти збільшення невідомих лінз.

В наближенні тонкої лінзи вважається, що обидві головні площини співпадають і проходять через середину лінзи. Таким чином, користуючись для визначення фокусної відстані наближенням тонкої лінзи ми робимо помилки на величину товщини скла лінзи, і це обмежує необхідну точність вимірювань. Якщо необхідно отримати точніші значення фокусних відстаней, то слід зважати на відстань між головними площинами.

Фокусну відстань можна визначити безпосередньо за формулою 1. Для цього слід розташувати на рейці послідовно освітлювач зі шкалою (об'єкт), лінзу та екран. Пересуваючи екран вздовж рейки, добитись чіткого зображення (збиральна лінза дає перевернуте зображення). За лінійкою на рейці визначити відстані між екраном та лінзою та між лінзою та освітлювачем. За допомогою 1 обчислити фокусну відстань. Змінити положення екрана та повторити дослід ще декілька разів. за результатами досліду знайти середнє значення фокусної відстані.

## Практична частина

У результаті проведених експериментів були отримані наступні дослідні дані(відстані відносно початку рейки):

Відстань до екрана(см)	Відстань до лінзи(см)	Відстань до предмета(см)
102.3	43.8	15
62.4	23.6	
36.0	20.6	
44.7	22.2	

Табл. 1: Дослідні дані

Обрахуємо відстані до лінзи за наступними формулами:

$$g = s_l - s_o$$

$$b = s_s - s_l$$

,де  $s_l$  - відстань до лінзи від початку рейки,  $s_s$  - відстань до екрана від початку рейки,  $s_o$  - відстань до предмета від початку рейки.

Згідно формули 1 тонкої збиральної лінзи та формули 2 для коефіцієнта збільшення лінзи обрахуємо зазначені величини.

Обрахуємо відносні похибки ( $\delta_f, \delta_V$ ), для цього абсолютні похибки вимірювань обчислимо за наступними формулами ( $\Delta b = \Delta g = 0.1(\text{см})$ )

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial g} \Delta g\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta b\right)^2} = \sqrt{\frac{b^4 \Delta g^2}{(b+g)^4} + \frac{g^4 \Delta b^2}{(b+g)^4}}$$

$$\Delta V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial g} \Delta g\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial b} \Delta b\right)^2} = \sqrt{\frac{b^2 \Delta g^2}{g^4} + \frac{\Delta b^2}{g^2}}$$

Результати обрахунків наведені у таблиці нижче:

$g$ (см)	$b$ (см)	$f$ (см)	$V$	$\Delta f$ (см)	$\Delta V$	$\delta_f\%$	$\delta_V\%$
28.8	58.5	19.3	2.03	0.046	0.008	0.24	0.39
8.6	38.8	7.04	4.51	0.067	0.054	0.95	1.19
5.6	15.4	4.11	2.75	0.054	0.052	1.32	1.9
7.2	22.5	5.45	3.125	0.058	0.045	1.58	1.46

Табл. 2: Результати обрахунків

## Висновки

В ході даної лабораторної роботи було виміряно фокусні відстані збиральних лінз та їх коефіцієнти збільшення. Результати розрахунків наведені у таблиці 2. Помилки обумовлені людським фактором та теж зазначені у таблиці 2.

## Відповіді на контрольні питання

### 1. Що таке дійсне, уявне зображення?

Дійсне зображення - зображення утворене перетином безпосередньо самих заломлених променів.

Уявне зображення - зображення утворене перетином уявних продовжень заломлених променів.

### 2. За яких умов створюється дійсне зображення для збиральної лінзи?

Дійсне зображення для збиральної лінзи створюється за умови розташування предмета на відстані більшу за фокусну.

### 3. За яких умов створюється уявне зображення у схемах зі збиральною лінзою?

Якщо предмет розташований на відстані, яка менша фокусної відстані, то утворюється уявне зображення.

### 4. За яких умов не бачимо зображення?

Ми не бачимо зображення (для збиральної лінзи), коли предмет розташований на фокусній відстані від лінзи.

### 5. Хід променів для кожного вищевказаного випадку?

### 6. Що таке сферична аберація?

Похибка, пов'язана із сферичністю заломлюючих поверхонь. Якщо із джерела виходить пучок світла, який утворює з головною оптичною віссю великий кут, то промені, які утворюють різні кути, перетинають оптичну вісь не в одній, а в різних точках. Промені, більш віддалені від центра лінзи, більше заломлюються і перетинають головну оптичну вісь на порівняно близьких відстанях від центра лінзи. Якщо екран, розташований перпендикулярно до головної оптичної осі, то замість точкового зображення буде розпливчаста пляма.

### 7. Що таке хроматична аберація?

Спотворення зображення, яке характеризується чергуванням кольорів в залежності від положення екрана. Залежність показника заломлення речовини лінзи від довжини світлової хвилі (дисперсія) призводить до того, що фокуси для різних кольорів зміщені один відносно одного. У результаті зображення білої плями виходить кольоровим.

### 8. В чому полягає різниця між тонкою і звичайною лінзою?

Лінзою називається прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями. Якщо товщина самої лінзи мала в порівнянні з радіусами кривизни сферичних поверхонь, то лінзу називають тонкою. Тобто тонкі лінзи - це тільки підмножина усіх лінз.