

Лабораторна робота 2

Визначення фокусних відстаней тонких лінз

Мета роботи: познайомитися з методами вимірювання фокусних відстаней збиральних та розсіювальних лінз.

Прилади й матеріали: 1) освітлювач; 2) матове скло зі стрілкою; 3) матове скло з міліметровою шкалою (у вигляді сітки); 4) екран із шкалою; 5) оптична лава довжиною 1,5 м; 6) набір лінз в оправках; 7) зорова труба.

Теоретичні відомості

Методи визначення фокусних відстаней, що вивчаються в даній роботі, відносяться до тонких лінз, для яких товщина набагато менша за радіуси кривизни поверхні лінзи. Для визначення фокусної відстані збиральних (додатних) лінз можна рекомендувати чотири методи.

В основу першого методу покладено визначення фокусної відстані додатної лінзи за формулою

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad (1)$$

де a – відстань від предмета до лінзи; b – відстань від лінзи до екрана, на якому отримано різке зображення предмета; f – фокусна відстань лінзи. Предметом є стрілка, накреслена на матовому склі освітлювача.

На рис. 1 представлена оптична схема для визначення фокусної відстані додатної лінзи першим способом.

Для запису формули (1) використано наступне правило знаків: *відстані до предмета, зображення та фокуса відраховуються від центра лінзи. Якщо зображення уявне, то відстань до нього менше нуля ($b < 0$), якщо фокус уявний, то фокусна відстань менше нуля ($f < 0$).*

З принципу Ферма слідує оборотність світлових променів. Якщо предметом буде A_1B_1 , то промені пройдуть тим же шляхом, тільки у зворотному напрямку, а зображенням тепер буде

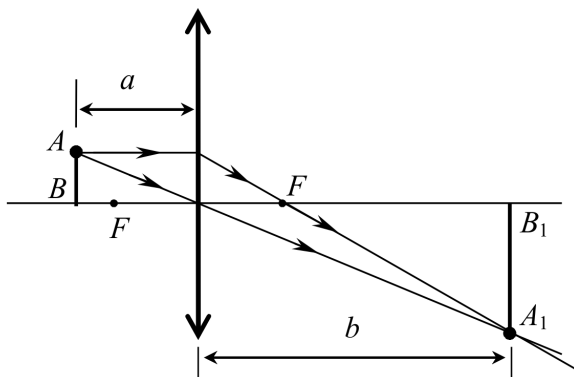


Рис. 1. AB – предмет; A_1B_1 – його зображення;
 F – передній і задній фокуси лінзи; a – відстань від предмета до лінзи;
 b – відстань від лінзи до зображення

служити AB . У першому випадку зображення було збільшеним, а у другому – зменшеним.

При визначенні фокусної відстані другим методом предмет треба розмістити від екрана на відстані L . Ця відстань повинна бути більше $4f$ (f можна взяти з результатів першого досліду). В цьому випадку дійсне зображення предмета (збільшене й зменшене) буде при двох положеннях лінзи, відстань між якими дорівнює l . Величини f , L , l пов'язані співвідношенням

$$f = \frac{L^2 - l^2}{4L}. \quad (2)$$

Оптична схема для визначення фокусної відстані додатної лінзи другим методом показана на рис. 2.

Цей метод можна застосовувати для вимірювання фокусних відстаней не тільки тонких, а і товстих лінз.

У третьому методі використовується така ж оптична схема, як і в першому методі (рис. 1). Фокусну відстань лінзи можна визначити за розмірами предмета A_1B_1 , його зображення A_2B_2 та відстані a (або b).

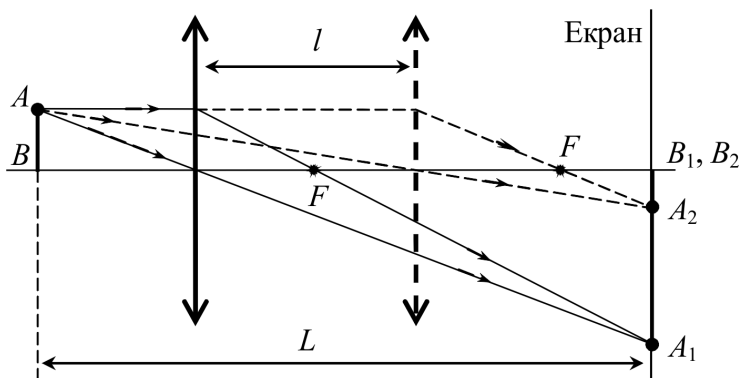


Рис. 2. AB – предмет; A_1B_1 – збільшене зображення предмета; A_2B_2 – зменшене зображення предмета; F – фокус лінзи у першому і другому положеннях лінзи

Як видно з рис. 1, поперечне збільшення $\Gamma = A_2B_2/A_1B_1 = b/a$. Підставляючи $b = a\Gamma$ у формулу (1), одержимо:

$$f = \frac{a\Gamma}{\Gamma + 1}. \quad (3)$$

Для вимірювання збільшення Γ використовують міліметрову сітку, яка нанесена на матове скло.

У четвертому методі для визначення фокусної відстані додатної тонкої лінзи використовується зорова труба, наведена на нескінченність. Якщо предмет, що розглядається через трубу, знаходиться на фокусній відстані від лінзи, його зображення буде різким. У цьому випадку фокусна відстань лінзи вимірюється безпосередньо.

Для визначення фокусної відстані розсіювальної (від'ємної) лінзи використовується метод, в якому як предмет для розсіювальної лінзи береться дійсне зображення, отримане за допомогою допоміжної збиральної лінзи. Оптична схема для визначення фокусної відстані тонкої від'ємної лінзи наведена на рис. 3.

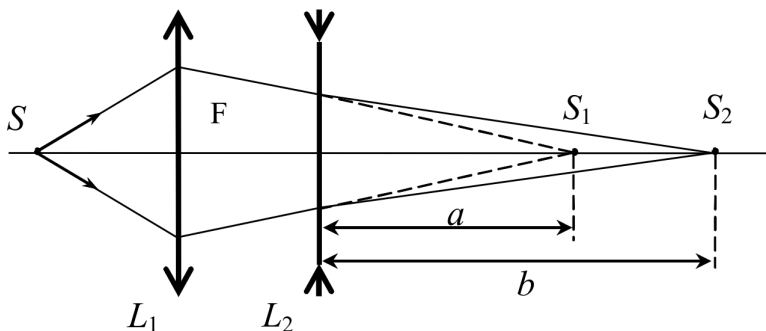


Рис. 3. L_1 , L_2 – додатна і від’ємна лінзи; S – предмет;
 S_1 – його зображення, отримане за допомогою збиральної лінзи;
 S_2 – зображення (збільшене) предмета; отримане на екрані
за допомогою обох лінз (збиральної та розсіювальної)

Фокусна відстань розсіювальної лінзи розраховується за формулою, яка записана з урахуванням правила знаків:

$$\frac{1}{-a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (4)$$

Для розсіювальної лінзи величина a являє собою відстань від лінзи L_2 до уявного предмета S_1 , тому у формулу вона входить зі знаком мінус. Величина b – це відстань від лінзи L_2 до дійсного зображення S_2 , і тому $b > 0$. Фокусна відстань f у цьому випадку повинна бути менше нуля (розсіювальна лінза має уявний фокус). Якщо S_1 співпадає з фокусом лінзи L_2 , то зображення предмета можна спостерігати в зоровій трубі, яка наведена на нескінченність.

Порядок виконання роботи

Вправа 1. Визначення фокусної відстані тонкої додатної лінзи.

Для визначення фокусної відстані збиральної лінзи встановити прилади на оптичній лаві згідно з рис. 4. Спочатку зліва на оптичній лаві розмістити освітлювач, потім встановити рейтер із лінзою і праворуч, у кінці лави, – екран. Предметом є стрілочка, накреслена на матовому склі освітлювача.

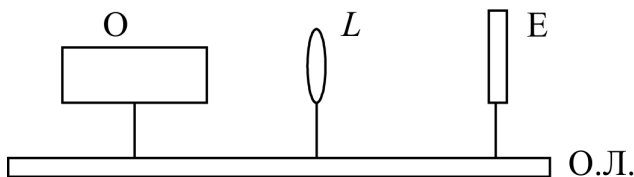


Рис. 4. О – освітлювач, L – лінза, Е – екран, О.Л. – оптична лави

Спосіб 1

- 1.1. Отримати різке зображення предмета на екрані (збільшене або зменшене).
- 1.2. Виміряти відстані a і b за допомогою лінійки на оптичній лаві.
- 1.3. Підставити значення a і b у формулу (1) і розрахувати фокусну відстань f .
- 1.4. Якщо зображення предмета спочатку було зменшеним (збільшеним), пересуваючи рейтер із лінзою, отримати також збільшене (зменшене) зображення предмета на екрані. Знову виміряти a і b та обчислити фокусну відстань.

Спосіб 2

- 2.1. Установити освітлювач і екран на протилежних кінцях оптичної лави.
- 2.2. Розмістити збиральну лінзу на оптичній лаві так (переміщуючи лінзу), щоб на екрані отримати різке, збільшене зображення предмета.
- 2.3. Виміряти відстань від предмета до екрана.
- 2.4. Записати перше положення (координату X_1) лінзи на оптичній лаві.
- 2.5. Не змінюючи положення предмета й екрана, перемістити лінзу ближче до екрана так, щоб отримати різке, зменшене зображення предмета.
- 2.6. Записати друге положення (координату X_2) лінзи та знайти відстань між ними ($l = X_2 - X_1$).
- 2.7. Розрахувати фокусну відстань лінзи за формулою (2).

Спосіб 3

- 3.1. Отримати на екрані збільшене або зменшене зображення предмета, як у першому способі.
- 3.2. Виміряти довжину предмета (стрілки) A_1B_1 , висоту зображення на екрані A_2B_2 і розрахувати поперечне збільшення Γ , що дає лінза:

$$\Gamma = \frac{A_2B_2}{A_1B_1}.$$

- 3.3. Розрахувати фокусну відстань за формулою (3).

Спосіб 4

Розміщення приладів на оптичній лаві для визначення фокусної відстані додатної лінзи четвертим способом показано на рис. 5.

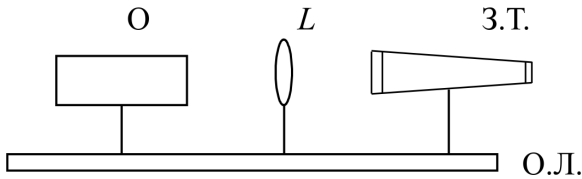


Рис. 5. О – освітлювач; L – лінза; З.Т. – зорова труба; О.Л. – оптична лави

- 4.1. Наведену на нескінченність зорову трубу поставити з одного кінця оптичної лави (замість екрана), а освітлювач із предметом розташувати з іншої сторони лави. Між ними, поблизу освітлювача, поставити досліджувану збиральну лінзу.
- 4.2. Рухаючи лінзу повільно в сторону зорової труби, досягти різкого зображення предмета, яке спостерігається за допомогою зорової труби. В цьому випадку відстань від предмета до лінзи a буде дорівнювати фокусній відстані лінзи, тобто предмет буде знаходитися у фокусі даної лінзи.
- 4.3. Знайти фокусну відстань не менше трьох разів.

Отримане значення фокусної відстані порівняти з результатами перших трьох способів. Знайти похибки вимірювань для кожного з чотирьох способів. Зробити висновки.

Вправа 2. Визначення фокусної відстані тонкої розсіювальної лінзи.

Схема розміщення приладів для визначення фокусної відстані тонкої розсіювальної (від'ємної) лінзи показана на рис. 6.

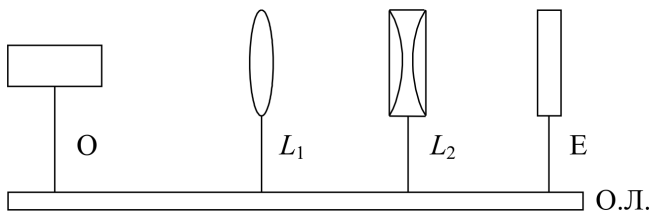


Рис. 6. О – освітлювач; L_1 – додатна лінза; L_2 – від'ємна лінза; Е – екран; О.Л. – оптична лавка

1. На оптичній лаві розмістити освітлювач із предметом, екран і збиральну лінзу L_1 (№ 6). Бажано екран поставити не в кінці оптичної лави, а ближче до її середини, так, щоб зображення предмета A_2B_2 було меншим за діаметр розсіювальної лінзи (№ 13), яка буде поставлена на лаву пізніше. Повільно рухаючи лінзу L_1 від освітлювача до екрана, одержати на екрані різке, збільшене зображення предмета. Закріпити всі прилади на оптичній лаві (крім екрана) і записати координату екрана (X_1).
2. Відсунути екран далі від додатної лінзи і розмістити між попереднім положенням екрана і додатною лінзою тонку від'ємну лінзу. Повільно рухаючи екран на оптичній лаві, отримати різке, збільшене зображення предмета.
3. Якщо різке, збільшене зображення предмета отримати не вдається, то треба змінити положення розсіювальної лінзи та знову спробувати дістати різке зображення предмета, переміщуючи екран. Повторювати цю операцію до тих пір, доки на екрані не утвориться різке зображення предмета.
4. Записати координати розсіювальної лінзи (X_L) та екрана в другому положенні (X_2).
5. Розрахувати відстань від розсіювальної лінзи L_2 до екрана в першому положенні $a = X_1 - X_L$ та відстань від розсіювальної лінзи L_2 до екрана в другому положенні $b = X_2 - X_L$.

Обчислити фокусну відстань розсіювальної лінзи за формулою (4).

Розрахувати похибки вимірювань. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке головна оптична вісь, побічна оптична вісь?
2. Дати визначення терміна «лінза»? Яка лінза називається тонкою?
3. Що таке фокальна площина, головний фокус та головна фокусна відстань тонкої лінзи?
4. Які формули, пов'язані з лінзами, ви знаєте?
5. Що таке оптична сила лінзи, в яких одиницях вона вимірюється?
6. Побудувати хід променів через лінзу в завданні, яке запропонує викладач.
7. Що означає термін «стигматичне зображення»?
8. Вивести формулу (2) для другого методу вимірювання фокусної відстані збиральної лінзи.