

Визначення головної фокусної відстані збірної та розсіювальної лінз

Мета роботи: визначення головних фокусних відстаней лінз,

Прилади та приладдя: оптична лава з укріпленими на рейтерах (тримачах) збіркою та розсіювальною лінзами, освітлювачем та екраном.

Теоретичний вступ

У геометричній оптиці світна точка і світловий промінь є математичними поняттями. **Світловий промінь** - лінія, вздовж якої переноситься світлова енергія. Наочніше, світловим променем можна назвати пучок світла малого поперечного розміру.

Зображення, які утворені перетином самих променів, називаються **дійсними**. Зображення, утворені перетином геометричних продовжень променів, називаються **уявними**.

Лінза являє собою оптично прозоре тіло, обмежене з двох сторін кривими (часто сферичними) заломлюючими поверхнями. Якщо відстань між обмежувальними поверхнями в центрі лінзи значно менше радіусів їх кривизни, лінза називається **тонкою**.

Лінзи бувають **двоопуклі** (збірні), **двогнуті** (розсіювальні), плосковгнуті (розсіювальні), **опукловгнуті** (збірні і розсіювальні).

Головною оптичною віссю називають пряму, що проходить через центри кривизни обох сферичних поверхонь лінзи.

Промені, паралельні оптичній осі, після проходження через двоопуклу (збірну) лінзу сходяться в точці M на цій осі (рис. 1, а) (лінза має два головні фокуси). Ця точка називається **головним фокусом збірної лінзи**.

При проходженні через двогнуту (розсіювальну) лінзу паралельні промені розходяться. Точка M_1 на головній оптичній осі, де перетинаються продовження цих променів, що розходяться, називається **головним фокусом розсіювальної лінзи** (рис. 1, б) (цей фокус називають **уявним**).

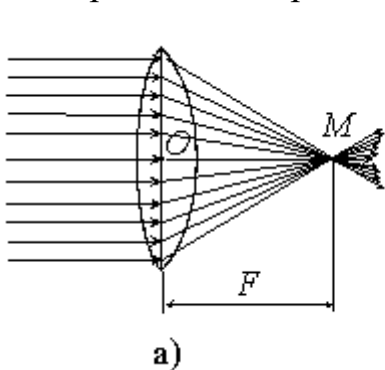


Рис.1.

Відстань від оптичного центру лінзи до головного фокусу називається **головною фокусною відстанню** лінзи F . Радіуси кривизни сферичних поверхонь R_1 і R_2 , що обмежують лінзу, пов'язані з показником заломлення речовини лінзи n і з її головною фокусною відстанню F таким співвідношенням

$$D = 1/F = (n - 1) (1/R_1 - 1/R_2) \quad (1)$$

Знаки R_1 та R_2 визначаються напрямком відліку від оптичного центру лінзи.

Головна фокусна відстань F пов'язана з відстанню d від лінзи до предмета і f від лінзи до зображення **формулою лінзи**

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \dots\dots\dots(2)$$

Формула (2) описує як збірні, так і розсіювальні лінзи. При цьому слід врахувати **правило знаків**:

- Перед $1/F$ ставиться знак "+", якщо лінза збірна, і знак "-", якщо лінза розсіювальна.
- Перед $1/f$ ставиться знак «+», якщо зображення є дійсним, і знак «-», якщо воно є уявним.
- Перед $1/d$ ставиться знак «+», якщо предмет є дійсним (на лінзу падає розбіжний пучок променів), і знак «-», якщо предмет є уявним (на лінзу падає збіжний пучок променів).

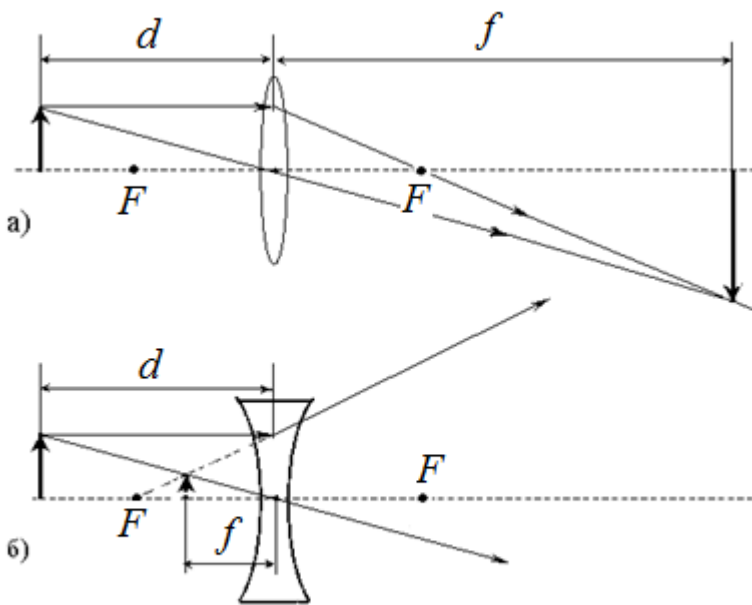


Рис. 2.

Величина $D = \frac{1}{F}$ називається **оптичною силою** лінзи. Оптична сила лінзи вимірюється у діоптріях. Діоптрія дорівнює оптичній силі лінзи з фокусною відстанню в один метр. Оптична сила збірної лінзи додатна, а розсіювальної - від'ємна.

Збірна лінза (рис. 2, а) дає як дійсне, так і уявне зображення, як збільшене, так і зменшене зображення, як пряме, так і зворотне зображення. Це залежить від того, де розміщений предмет: між лінзою та фокусом, або між фокусом та подвійним фокусом, або за подвійним фокусом.

Розсіювальна лінза (рис. 2, б) завжди дає уявне та зменшене зображення.

Визначення фокусної відстані лінз може бути проведено різними способами.

1. Спосіб 1. Визначення фокусної відстані збірної лінзи за положенням об'єкта та його зображення

Фокусну відстань тонкої збірної лінзи можна визначити, виходячи з формули лінзи (2). Для цього достатньо виміряти відстані d та f , показані на рис. 2, а, і потім обчислити F відповідно до формули

$$F = \frac{df}{d + f} \dots\dots\dots(3)$$

Порядок виконання роботи

1. Помістивши екран на досить великій відстані від освітлювача, ставлять між ними лінзу і пересувають її до тих пір, поки не отримають на екрані чітке **збільшене зображення** сітки освітлювача.

2. За шкалою на оптичній лаві відраховують відстань d від освітлювача до лінзи та відстань f від лінзи до зображення.

3. Отримані дані заносяться до таблиці 1.

4. Зважаючи на неточність візуальної оцінки різкості зображення, рекомендується повторити дослід не менше трьох разів при різних положеннях екрану.

5. Помістивши екран на досить великій відстані від об'єкта, ставлять між ними лінзу і пересувають її до тих пір, поки не отримають на екрані чітке **зменшене зображення**.

6. Повторюють пункти 2-4.

7. З кожного окремого виміру за формулою (3) визначають фокусну відстань та з отриманих результатів знаходять середню арифметичну.

8. За стандартною процедурою (див. Додаток) проводять обробку результатів вимірювання та визначають граничну похибку ΔF .

Таблиця 1

N за/п	d (м)	f (м)	F_i (м)	$\langle F \rangle$ (м)	ΔF_i	S_F	$t_{\alpha,n}$	ΔF (м)	Е%
Збільшене зображення									
1.									
2.									
3.									
Зменшене зображення									
1.									
2.									
3.									

Результат записують у вигляді

$$F = \langle F \rangle \pm \Delta F, \text{ (м) при } \alpha =$$

II. Спосіб 2. Визначення фокусної відстані збірної лінзи за величиною переміщення лінзи

Величини d і f , що вимірюються в першому способі, не можна визначити точно через те, що в загальному випадку оптичний центр лінзи не збігається з центром симетрії і знайти його положення важко.

Існує **точніший спосіб** визначення фокусної відстані, при якому відстані d і f не вимірюються. Суть методу така.

У формулу (2) для збірної лінзи d і f входять симетрично. Це означає, що величини d і f можна міняти місцями, при цьому формула не змінить свого вигляду.

Якщо предмет, поставлений на відстані d від лінзи, дає дійсне зображення на відстані f від неї, то предмет, поставлений на відстані f від лінзи, дає дійсне зображення на відстані d від неї. В одному випадку вийде збільшене зображення світного предмета, в другому зменшене (рис. 3).

Відстань a між цими двома положеннями лінзи, як видно з порівняння рисунків 3 а і 3 б буде дорівнювати :

$$a = f - d.$$

Відстань L між предметом та екраном дорівнює

$$L = f + d.$$

Додаючи та віднімаючи ці співвідношення, отримаємо

$$d = \frac{L - a}{2}, f = \frac{L + a}{2},$$

звідки, беручи до уваги формулу лінзи (2), слідує

$$F = \frac{L^2 - a^2}{4L}. \quad (4)$$

Визначення фокусної відстані цим способом є найбільш точним, оскільки не вимагає знання положення оптичного центру лінзи. У ньому вимірюється не відстань від лінзи, а її переміщення.

Порядок виконання роботи

1. На оптичній лаві встановлюють екран так, щоб відстань L між ним і предметом була більше $4F$ (величина F відома з результатів вимірювань за першим способом). Відстань L точно вимірюють за шкалою.

2. Між предметом та екраном поміщають лінзу. Залишаючи відстань між предметом і екраном сталою протягом усього досліду, переміщують лінзу і, отримавши чітке **збільшене зображення** предмета, відзначають за шкалою положення лінзи. Потім, перемістивши лінзу та отримавши чітке **зменшене зображення** предмета, відзначають нове положення лінзи. Вимірюють відстань a між двома положеннями лінзи.

3. За формулою (4) визначають фокусну відстань F .

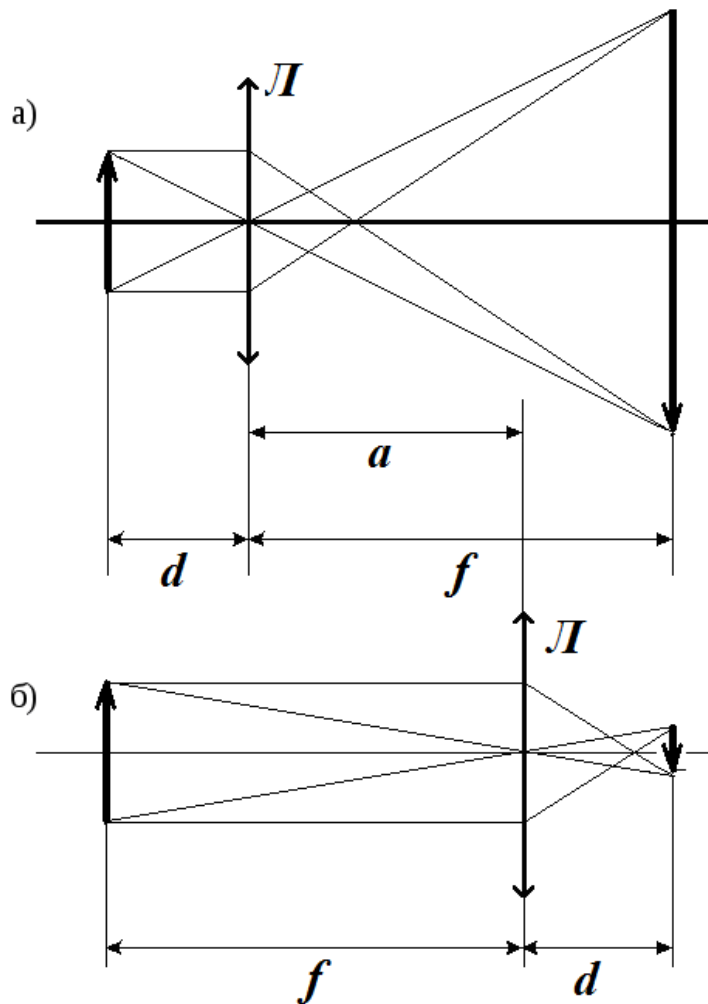


Рис. 3.

4. Дослід повторюють три рази, вибираючи різні L та a .

5. Результати вимірювань заносять до таблиці.

Таблиця 2

№ п/п	L	a	F_i	$\langle F \rangle$	ΔF_i	S_F	$t_{\alpha, n}$	ΔF	$E\%$
1									
2									
3									

За стандартною процедурою (див. Додаток) проводять обробку результатів вимірювання і визначають граничну похибку ΔF .

Результат записують у вигляді

$$F = \langle F \rangle \pm \Delta F, \text{ (м) при } \alpha =$$

III. Визначення фокусної відстані розсіювальної лінзи

Розсіювальна лінза дає уявне зображення і не дає дійсного зображення предмета на екрані. Тому відстані, що входять до формули лінзи, не можуть бути безпосередньо виміряні.

Якщо скласти разом збірну лінзу (оптична сила додатна) і розсіювальну лінзу (оптична сила від'ємна), то оптична сила системи дорівнюватиме сумі оптичних сил обох лінз. Система двох лінз буде або зірною, або розсіювальною залежно від того, чия оптична сила зі лінз, що складаються, більша за модулем.

Для визначення фокусної відстані розсіювальної лінзи, до неї можна приєднати збірну лінзу таку, щоб отримана комбінація була зірною (рис. 4, а). Для цього оптична сила зірної лінзи має бути за модулем більшою, ніж оптична сила розсіювальної.

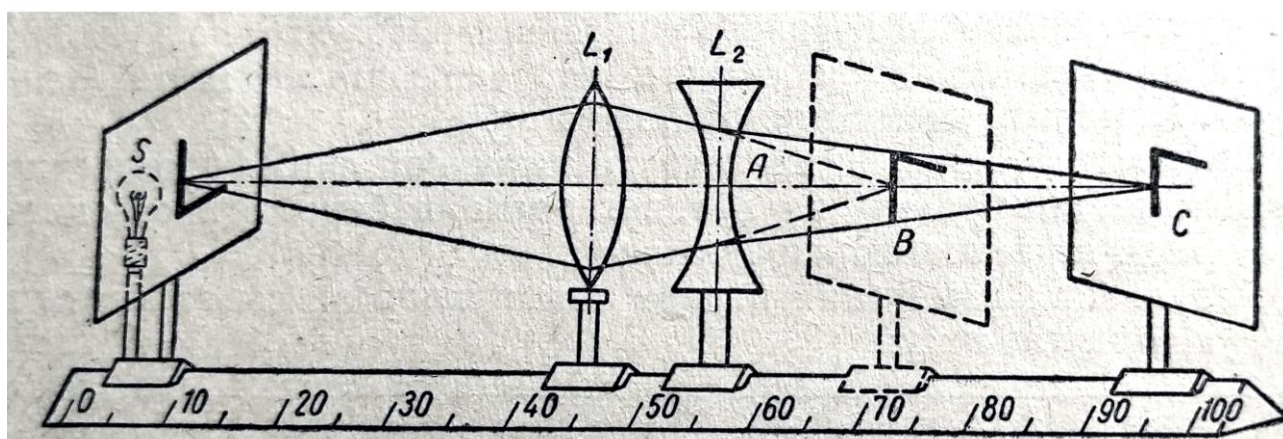


Рис. 4, а

Між предметом (роль якого виконує освітлювач S з сіткою для зручності наведення на різкість) і екраном ставлять спочатку тільки збірну лінзу L_1 і відзначають те положення екрана B , при якому на ньому виходить зображення предмета.

Далі екран відсувається, і позаду збірної лінзи поміщають розсіювальну лінзу L_2 (рис. 4, *a*). При цьому чітке зображення предмета пропадає. Відсуваючи екран і зміщуючи розсіювальну лінзу, знову домагаються чіткого зображення предмета, що дається комбінацією двох лінз.

Для лінзи L_2 «предметом» є зображення B дане лінзою L_1 від предмета S . Вимірюють відстань від розсіювальної лінзи до першого положення екрана B . Нехай воно буде d_1 .

Далі вимірюють відстань від розсіювальної лінзи до другого положення екрана C . Ця відстань дорівнює f_1 .

Користуючись оборотністю променів світла при проходженні крізь лінзи, будемо вважати джерелом світла зображення предмета в площині C , тоді положення уявного зображення, що дає лінза L_2 , буде знаходитися ну фокальній площині B .

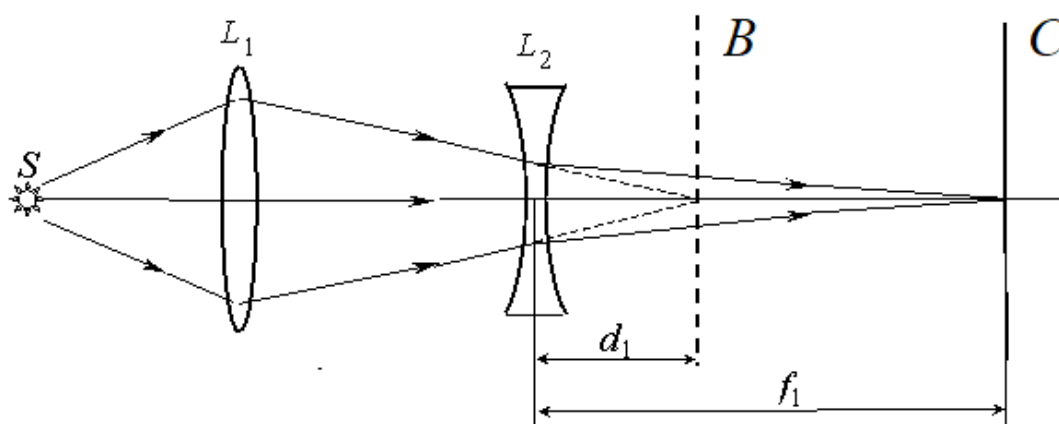


Рис. 4, б

Користуючись правилом знаків, отримаємо формулу для визначення головної фокусної відстані F_1 двовгнутої лінзи:

$$\frac{1}{f_1} - \frac{1}{d_1} = \frac{1}{F_1},$$

Звідси

$$F_1 = \frac{d_1 f_1}{d_1 - f_1}. \quad (5)$$

Порядок виконання роботи

1. Поміщаючи між освітлювачем зі сітчастою стрілкою, яка грає роль предмета, і екраном тільки одну збірну лінзу, отримують на екрані чітке збільшене зображення стрілки. Відзначають за шкалою на оптичній лаві і записують положення екрана B .

2. Потім, між збірною лінзою і екраном поміщають розсіювальну лінзу і, віддаляючи від неї екран, знову отримують на ньому чітке зображення сітки. Нове положення екрана C також відзначають за шкалою на оптичній лаві.

3. Записують поділку шкали L_2 , на якій на лаві встановлена розсіювальна лінза.

4. Розраховують значення величин d_1 та f_1 для кожного досліду. За формулою (5) розраховують фокусну відстань F .

5. Дослід виконують 3 рази, вибираючи різні положення екрана при отриманні зображення за допомогою однієї збірної лінзи.

6. За стандартною процедурою (див. Додаток) проводять обробку результатів вимірювання та визначають граничну похибку ΔF .

Результат записують у вигляді

$$F = \langle F \rangle \pm \Delta F, \text{ (м) при } \alpha =$$

Таблиця 3

N за/п	B см	C см	L_2 см	$d_1 = B - L_2$ см	$f_1 = C - L_2$ см	F_i за (5) см	$\langle F \rangle$	ΔF_i	$S_{\langle F \rangle}$	α	$t_{\alpha, n}$	ΔF	$E\%$
1.													
2.													
3.													
4.													

Контрольні питання

1. Дайте визначення головних фокусів лінзи. Накресліть хід променів у збірній та розсіювальній лінзах.
2. Що таке оптична сила лінзи? У яких одиницях вона вимірюється?
3. За яких умов система зі збірної та розсіювальної лінз даватиме уявне зображення? Дійсне зображення?
4. Відстань від предмету до екрана 100 см. На якій відстані від предмету слід розмістити збірну лінзу з оптичною силою 8 діоптрій, що отримати на екрані чітке зображення предмету? Рішення пояснити кресленням.

Література

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. У 3 т. Т.3: Оптика. Квантова фізика. Навчальний посібник для студентів вищих технічних та педагогічних закладів освіти – К.; "Техніка", 2006, -520 с
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є).. – Львів. – "Бескід Біт". – 2002.
3. Гаркуша І.П., Курінний В.П. Фізика. Навчальний посібник у 7 частинах. Ч. 5. - Хвильова оптика. - Д. НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. - 58 с. -

Методика обробки експерименту

1. Проводять n незалежних дослідів та визначають n значень шуканої величини $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

2. Розраховують середнє арифметичне значення шуканої величини:

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

3. Розраховують відхилення кожного результату від середнього значення:

$$\Delta x_i = x_i - \langle x \rangle .$$

4. Визначають стандартне відхилення середнього

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta x_3^2 + \dots}{n(n-1)}} .$$

5. Задають довірчу ймовірність α . Зазвичай довірчу ймовірність вважають рівною 0,90; 0,95; 0,98; 0,99. За вибраним значенням довірчої ймовірності α і для виконаної кількості вимірювань n за таблицею визначають коефіцієнт Стюдента $t_{\alpha, n}$ (Таблиця є в кожній лабораторії).

6. Обчислюють півширину довірчого інтервалу (**абсолютну похибку середнього**)

$$\Delta \langle x \rangle = t_{\alpha, n} S_{\langle x \rangle} .$$

7. Визначають відносну похибку

$$E = \frac{\Delta \langle x \rangle}{\langle x \rangle} \cdot 100\% .$$

8. Остаточний результат вимірювання записують у вигляді:

$$x = (\langle x \rangle \pm \Delta \langle x \rangle) \text{ одиниць виміру, при } \alpha = \dots$$

Склав І.П. Гаркуша