

Лабораторная работа № 5.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

5.1.1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с построением изображения в тонкой линзе и микроскопе и проверка формулы увеличения микроскопа.

5.1.2. Краткая теория

Геометрическая оптика рассматривает метод построения изображений в оптических системах, позволяет разобрать основные явления, связанные с прохождением через них света, и является основой теории оптических приборов.

Простейшей оптической системой является линза.

Линза – это прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, преломляющими световые лучи. Одна поверхность сферическая, иногда цилиндрическая, а вторая – сферическая или плоская (рис. 5.1.1).

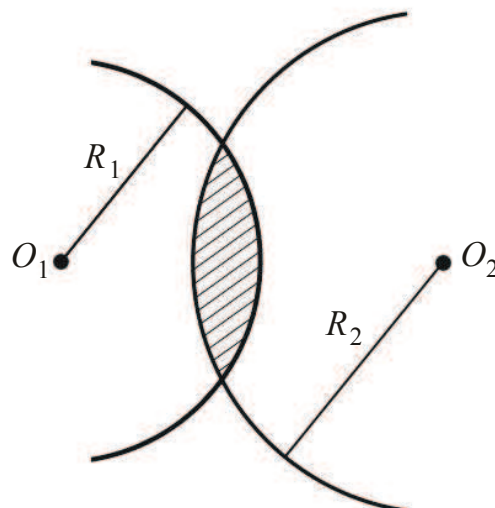


Рис. 5.1.1. Линза

По оптическим свойствам линзы делятся на *собирающие* и *рассеивающие*, а по форме – на *выпуклые* и *вогнутые*. Выпуклая линза является собирающей, а вогнутая линза – рассеивающей.

Линза называется *тонкой*, если ее толщина много меньше радиусов кривизны поверхностей, образующих линзу ($d \ll R_1, d \ll R_2$).

Главная оптическая ось – это прямая, проходящая через центры O_1 и O_2 кривизны поверхностей линзы (рис. 5.1.2).

Оптический центр линзы (O) – точка на главной оптической оси, обладающая следующим свойством: световые лучи проходят через нее, не преломляясь.

Главные фокусы линзы – это точки, лежащие на главной оптической оси по обе стороны линзы, в которых пересекаются лучи или их продолжения после преломления в линзе, если свет падает на линзу параллельным пучком.

Фокусное расстояние F – это расстояние между оптическим центром линзы и одним из ее главных фокусов.

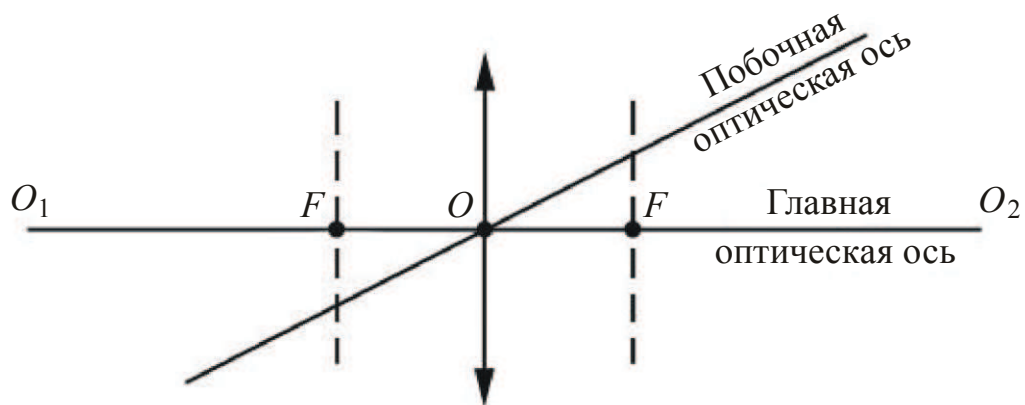


Рис. 5.1.2. Характеристики линзы

Побочная оптическая ось – это любая прямая, проходящая через оптический центр линзы и не совпадающая с главной оптической осью.

Формула тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (5.1.1)$$

связывает между собой три расстояния: фокусное (F), расстояние от линзы до предмета (d) и до его изображения (f).

Оптическая сила D линзы – это величина, обратная фокусному расстоянию

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{л}}}{n_{\text{ср}}} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (5.1.2)$$

где $n_{\text{л}}$ – абсолютный показатель преломления линзы;

$n_{\text{ср}}$ – абсолютный показатель преломления окружающей среды.

Единица измерения оптической силы $[D] = 1 \text{ м}^{-1} = 1 \text{ дптр}$ (диоптрия).

Линейное увеличение Γ линзы

$$\Gamma = \frac{|H|}{|h|} = \frac{|f|}{|d|}, \quad (5.1.3)$$

где H – размер изображения;

h – размер предмета.

Микроскоп представляет собой комбинацию двух оптических систем – объектива и окуляра и предназначен для наблюдения мелких предметов, неразличимых глазом.

Малый объект Y помещается вблизи переднего фокуса объектива, дающего его увеличенное действительное изображение Y' , которое рассматривается с помощью окуляра, играющего роль лупы, давая мнимое изображение Y'' на расстоянии наилучшего зрения d_0 (рис. 5.1.3).

Расстояние наилучшего зрения – расстояние от предмета до глаза, при котором удобнее всего рассматривать детали предмета. Для нормального глаза условно принимают $d_0 = 0,25 \text{ м}$. Расстояние Δ между вторым фокусом объектива и первым фокусом окуляра называется *оптическим интервалом*.

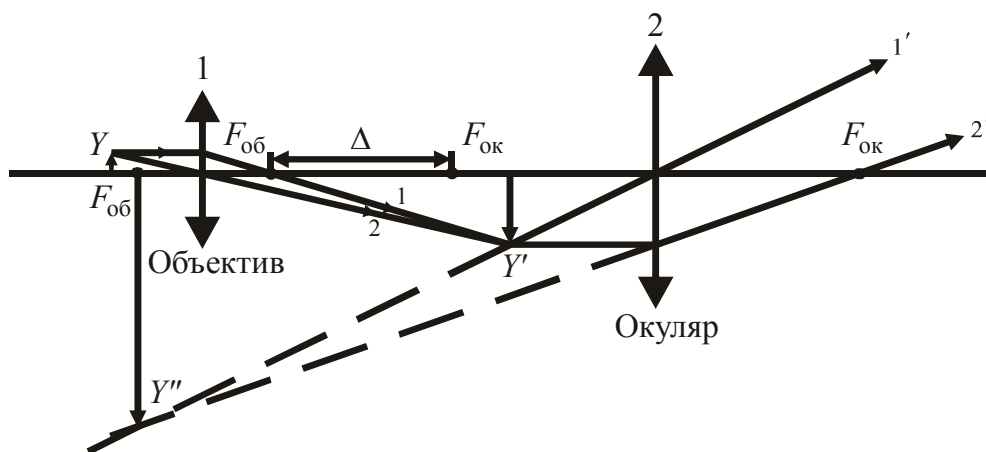


Рис. 5.1.3. Оптическая схема микроскопа

Если предмет Y поместить на расстоянии d_1 от объектива микроскопа, его изображение Y' будет находиться от объектива на расстоянии f_1 , удовлетворяющем уравнению

$$\frac{1}{F_{об}} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}. \quad (5.1.4)$$

Увеличение изображения, даваемого объективом

$$k_{об} = \frac{f_1}{d_1} \quad (5.1.5)$$

или приблизительно

$$k_{об} = \frac{\Delta}{F_{об}}. \quad (5.1.6)$$

Окуляр располагают относительно изображения Y' так, чтобы оно рассматривалось через него, как через лупу. Окончательное изображение Y'' будет мнимым и будет отстоять от окуляра на расстоянии f_2 . Если расстояние d_2 от окуляра до промежуточного изображения Y' подобрано так, что оно удовлетворяет уравнению

$$\frac{1}{F_{ок}} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2}, \quad (5.1.7)$$

то увеличение изображения Y' , даваемое окуляром, при этом окажется равным

$$k_{\text{ок}} = \frac{f_2}{d_2}. \quad (5.1.8)$$

Увеличение микроскопа Γ вычисляется как произведение увеличений объектива и окуляра.

$$\Gamma = k_{\text{об}} k_{\text{ок}}. \quad (5.1.9)$$

5.1.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите раздел «Оптика».

1. Тонкая линза

Откройте модель «Тонкая линза». Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Внимательно рассмотрите рис. 5.1.4. Найдите регуляторы с движками, задающими расстояние d от линзы до предмета и оптическую силу D , равную F^{-1} , и запишите их в соответствующую таблицу в отчете.

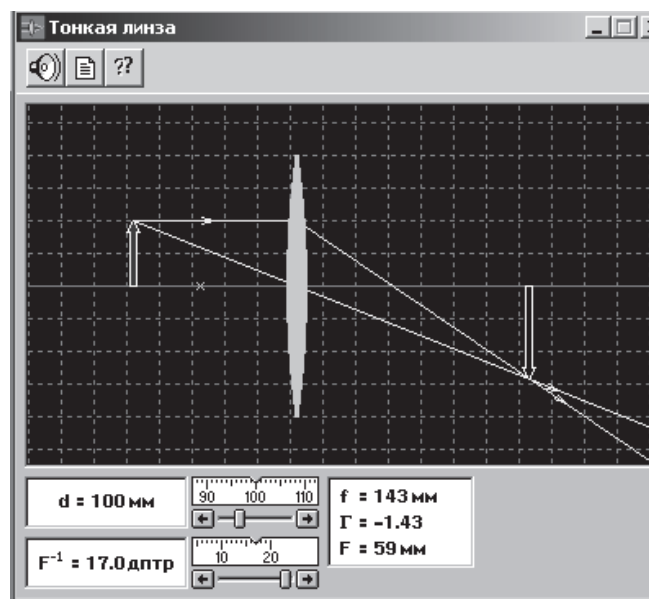


Рис. 5.1.4. Построение изображения предмета в линзе

1. Подведите маркер мыши к движку регулятора оптической силы, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом состоянии, перемещайте движок до установки значения D , взятого из табл. 5.1.1 для вашей бригады.

2. Аналогично установите первое значение расстояния d от линзы до предмета, взятое из табл. 5.1.2.

3. Запишите с экрана в табл. 5.1.2 расстояние f от линзы до изображения и линейное увеличение линзы Γ .

4. Измените расстояние d на 10 см, повторите измерения по п. 3.

5. Повторите действия по пп. 3, 4 и заполните до конца табл. 5.1.2.

6. Постройте графики зависимости $d(f)$ и $d(\Gamma)$. Сделайте выводы по графикам.

Таблица 5.1.1

Исходные данные (тонкая линза)

Номер бригады	D , дптр	Номер бригады	D , дптр
1	17	5	-20
2	18	6	-19
3	19	7	-18
4	20	8	-17

Таблица 5.1.2

Результаты измерений

d , мм	f , мм	Γ
70		
80		
90		
100		
110		
120		
130		
140		
150		
160		

2. Микроскоп

1. Выберите «Микроскоп». Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Внимательно рассмотрите рис. 5.1.5. Найдите регуляторы с движками, задающими фокусное расстояние объектива ($F_{об} = F_1$), окуляра ($F_{ок} = F_2$), и запишите их в соответствующую таблицу в отчете.

Нарисуйте оптическую схему микроскопа в отчете.

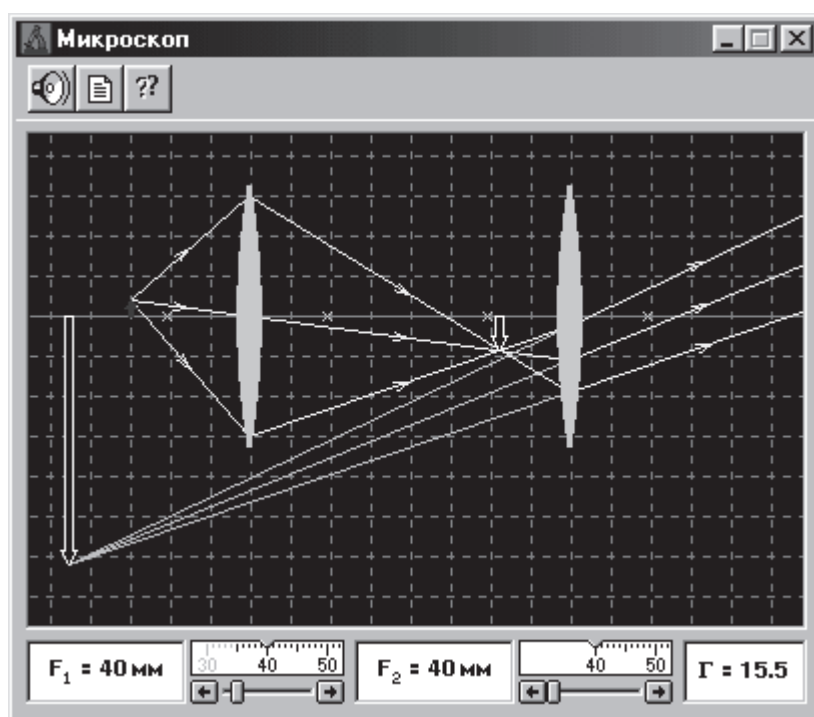


Рис. 5.1.5. Оптическая схема микроскопа

2. Подведите маркер мыши к движку регулятора фокусного расстояния объектива микроскопа, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом состоянии, перемещайте движок до установки F_1 для первого опыта, взятого из табл. 5.1.3 для вашей бригады.

3. Установите аналогичным образом фокусное расстояние окуляра F_2 и запишите эти значения в табл. 5.1.4.

4. С помощью линейки измерьте расстояния d_1 , d_2 , f_1 , f_2 и запишите их в ту же таблицу.

5. По формулам (5.1.5), (5.1.8) и (5.1.9) рассчитайте экспериментальные значения $k_{об}$, $k_{ок}$ и Γ и запишите эти значения в табл. 5.1.4.

6. По формуле (5.1.6) рассчитайте теоретическое значение оптического интервала Δ_T , используя рассчитанное значение $k_{об}$ и заданное F_1 .

7. Определите масштаб шкалы окна оптической схемы микроскопа. Для этого измерьте с помощью линейки на экране монитора фокусное расстояние F_1 и поделите на него значение, взятое из табл. 5.1.1.

8. Измерьте с помощью линейки на экране монитора оптический интервал микроскопа, умножьте его на масштаб шкалы окна и запишите полученное значение интервала в табл. 5.1.4 (графа $\Delta_{эксп}$).

9. Установите другие значения F_1 и F_2 (см. табл. 5.1.3) и повторите измерения по пп. 4 – 8. Результаты запишите во вторую строку табл. 5.1.4.

10. Рассчитайте среднее значение $\Delta_{эксп}$, среднюю абсолютную и относительную погрешности (см. с. 7–8).

11. Сравните полученные экспериментальные значения оптического интервала и увеличения микроскопа с указанными в окошке опыта значениями и сделайте выводы.

12. Рассчитайте относительную и среднюю абсолютную погрешности определения Δ и Γ (см. с. 8).

Таблица 5.1.3

Исходные данные (микроскоп)

Номер бригады	Первый опыт		Второй опыт	
	F_1 , мм	F_2 , мм	F_1 , мм	F_2 , мм
1	35	40	37	41
2	39	42	41	43
3	43	44	45	45
4	47	46	49	47
5	51	48	53	49
6	55	50	57	51
7	59	52	61	53
8	63	54	65	55

Результаты измерений

F_1 , мм	F_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	f_1 , мм	f_2 , мм	$k_{об}$	$k_{ок}$	$\Gamma_{эксп}$	$\Delta_э$, мм	$\Gamma_{теор}$	$\Delta_{теор}$, мм

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает геометрическая оптика?
2. Что называется линзой?
3. Какая линза называется тонкой?
4. Что такое главная и побочная оптические оси?
5. Что такое главные фокусы линзы? Где они расположены?
6. Какая линза называется собирающей? Рассеивающей?
7. Можно ли с помощью рассеивающей линзы получить увеличенное изображение предмета? Сделайте чертеж.
8. Можно ли с помощью собирающей линзы получить уменьшенное изображение предмета? Сделайте чертеж.
9. Запишите формулу тонкой линзы.
10. Что называется оптической силой линзы, в каких единицах она измеряется?
11. Что представляет собой микроскоп? Опишите принцип его действия.
12. Как вычисляется увеличение микроскопа?
13. Что называется расстоянием наилучшего зрения?