**Работа № 1. ТОНКИЕ ЛИНЗЫ**

**Цель работы:** изучение методов определения фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз.

**Вопросы, знание которых обязательно**

**для допуска к выполнению работы:**

1. Дайте определение геометрической оптики.
2. Сформулируйте законы геометрической оптики.
3. Что такое точечный источник?
4. Что такое относительный и абсолютный показатель преломления среды.
5. Что такое линза?
6. Какие линзы называются тонкими линзами?
7. Что называют главной и побочной оптической осью линзы, оптическим центром линзы, фокальной плоскостью, главными фокусами линзы, радиусами кривизны ее поверхности?
8. Собирающие и рассеивающие линзы.
9. Действительное и мнимое изображение предмета.
10. Формула тонкой линзы.
11. Увеличение линзы.
12. Оптическая сила линз.
13. Изобразите ход лучей в собирающих и рассеивающих линзах для различных случаев расположения предмета относительно линзы.
14. В чем заключается метод Бесселя?
15. Что такое коллиматор?

**Введение**

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное двумя криволинейными (обычно сферическими) поверхностями или одной криволинейной и одной плоской поверхностью. В качестве материала линз обычно используются оптические материалы, такие как стёкла, оптические стёкла, кристаллы, оптически прозрачные пластмассы и другие материалы. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны преломляющих поверхностей, то линзу называют тонкой***.***

**O**

**R2**

**R1**

**Главная оптическая ось**

**Побочная оптическая ось**

**O1**

**O2**

**Толщина линзы**

**Рис.1**

Прямая, проходящая через центры кривизны ***O*1** и ***O*2** преломляющих поверхностей, называется **главной оптической осью** линзы (рис.1). В случае тонких линз можно приближенно считать, что главная оптическая ось пересекается с линзой в одной точке, которую принято называть **оптическим центром** линзы ***O***.

Все прямые, проходящие через оптический центр, называются **побочными (вспомогательными) оптическими осями***.*

Расстояния, отсчитываемые от центра линзы по ходу луча (вправо от точки ***О***, если источник света ***S*** находится слева), будем считать положительными, а против хода светового луча (влево от точки ***О***) – отрицательными. Так что на рис. 1 радиус ***R1*** *>* 0, а ***R2*** *<* 0.

**Собирающая линза** – это линза, которая в середине толще, чем по краям. Собирающие линзы бывают: плоско - выпуклыми, двояковыпуклыми, вогнуто – выпуклыми.

**R1 > 0**

**R2 → ∞**

**R1 > 0**

**R2 > 0**

**R1 < 0**

**R2 > 0**

**|R1| > |R2|**

**Рис.2**

Если на собирающую линзу падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то после преломления в линзе они собираются в одной точке ***F***, которую обозначают как **главный фокус линзы** (рис. 3а).

***б***

***а***

## F

## O

***f***

**F**

## O

***f***

**Рис.3 а**

Фокус линзы - **действительный** (***F>0***), поскольку пересекаются сами **лучи**. *OF = f* называется фокусным расстоянием линзы.

Если толщина линзы в центре тоньше, чем по краям, то такие линзы называют **рассеивающими**. Рассеивающие линзы бывают: плоско-вогнутые, двояковогнутые, выпукло-вогнутые.

**R1 < 0**

**R2 > 0**

**R1 → ∞**

**R2 > 0**

**R1 < 0**

**R2 > 0**

**Рис.3 б**

Если пучок после преломления получается расходящимся, то точка, где сходятся (после преломления) воображаемые продолжения лучей, падающих параллельно главной оптической оси, называют **мнимым** фокусом(***F<0***) (рис.3,б).

Таким образом, фокусомлинзы называется точка, в которой после преломления собираются все лучи (или их воображаемые продолжения), падающие на линзу параллельно главной оптической оси.

**Фокальные плоскости** линзы – плоскости *N1* и *N2*(рис.4), проходящие через фокусы линзы перпендикулярно главной (основной) оптической оси.

**побочная ось**

**фокальные плоскости**

**F**

**N1**

**N2**

**F**

**Fp**

**Рис. 4**

Если световой пучок падает параллельно побочной оси, то лучи собираются в побочных фокусах ***Fp***, находящихся на фокальных плоскостях линзы (рис.4).

Выведем **формулу тонкой линзы**.

Обозначим расстояние от источника света ***S1***до оптического центра линзы – ***а1****,* ***а2*** – расстояние от оптического центра линзы до изображения источника (рис.5).

γ

***R*2**

***R*1**

***a*2**

***a*1**

**S2**

**S1**

***O***

**Рис. 5**

Отсчет всех расстояний ведется от оптического центра линзы ***О***. За положительное направление отсчета выбирается направление, которое совпадает с направлением распространения света.

На чертеже *а2 > 0* и *R1 >* 0, *а1* < 0 и *R2* < 0.

Расстояния *а2* и *а*1, связаны с радиусами кривизны линзы, находящейся в воздухе, следующим соотношением, которое называется формулой тонкой линзы:

, , (1)

где *f* – фокусное расстояние линзы, т.е. расстояние от фокуса до оптического центра линзы; *nл* – показатель преломления материала линзы.

Лучи, исходящие из точки *S1* под небольшими углами *γ* < 10̊ (такие лучи называются параксиальными) к оптической оси, проходя линзу, дважды преломляются на сферических поверхностях и собираются на одном расстоянии *а2* от границы раздела в одной точке *S2*, расположенную также на оптической оси и называемую изображением точки *S1* (рис. 5).

Формулу (1) можно записать в виде:

 (2)

Величина***D*** – этооптическая сила линзыи в системе СИ измеряется в диоптриях(или м–1*).* 1 диоптрия равна оптической силе линзы с фокусным расстоянием в один метр. Она может быть положительной или отрицательной. Собирающие линзы имеют значения ***D* > 0**, а рассеивающие ***D* < 0**. Для удобства построения хода лучей в тонких линзах на чертежах сами линзы изображают следующим образом:

*а* – собирающая линза (рис.6),

***а***

***б***

**Рис.6**

*б* – рассеивающая линза (рис.6).

Изображение предмета, даваемое линзой, можно получить непосредственно геометрическим построением, воспользовавшись свойством следующих лучей (рис.6):

* луч, проходящий через оптический центр линзы, не преломляется, луч (1);
* луч, падающий на линзу параллельно оптической оси после преломления, проходит через фокус, луч (2);
* луч, проходящий через передний фокус, после преломления параллелен оптической оси, луч (3).

Рассмотрим построение изображения в собирающей линзе (рис.7).

***2***

***3***

***1***

***3***

***2***

***1***

***B′***

***А′***

***а*2**

***-а1***

О

**-h2**

***h*1**

***F***

***F***

***А***

***B***

**Рис. 7**Рассмотрим построение изображения в рассеивающей линзе (рис.8).

***2***

***1***

***2***

***B′***

***А′***

О

***F***

***F***

***А***

***B***

**Рис. 8**

Отношение линейных размеров изображения и исходного предмета, называется линейным или поперечным увеличением ***β****,* определяется следующей зависимостью (рис.7):

. (3)

Линейное увеличение – алгебраическая величина. Оно положительно, если изображение прямое, т.е. ориентировано так же, как и сам предмет, и отрицательно, если изображение обратное.

**Задания и указания к их выполнению**

**Задание 1.** **Оценить грубо фокусное расстояние собирающей линзы.**

Выполнение:

* Определите фокусное расстояние линзы по кривизне поверхностей и по показателю преломления (*n=*1.5), используя формулу (1).

**Задание 2.** **Определить фокусное расстояние собирающей линзы с помощью параллельного пучка.**

Параллельный пучок света получают от специального устройства – коллиматора. На экране видно световое пятно, диаметр которого равен диаметру параллельного пучка света. Наблюдая диаметр пятна при перемещении экрана по скамье, можно убедиться, что диаметр пятна остается постоянным.

**Рис.9**

***а*2**

***F***

***Экран***

Помещая собирающую линзу в параллельный пучок света, можно собрать лучи на экране в точке. Эта точка и есть фокус линзы (рис.9). Расстояние от экрана до линзы равно фокусному расстоянию: *f = a2*.

Выполнение:

* Включите коллиматор. Получите параллельный пучок света.
* Поместите в параллельный пучок исследуемую собирающую линзу.
* Отцентрируйте систему (центрированная система - это система у которой центры кривизны всех сферических преломляющих и отражающих поверхностей расположены на одной прямой, называемой главной оптической осью).
* Определите фокусное расстояние линзы.
* Измерения проделайте три раза
* Определите погрешности при нахождении фокусного расстояния.
* Данные измерений и расчетов занесите в таблицу 1.

*Таблица 1.*

|  |  |
| --- | --- |
| ***№*** | ***f*** |
| 1 |  |
| 2 |  |
| 3 |  |
| *fср* |  |

**Задание 3.Измерить фокусное расстояние собирающей линзы методом Бесселя.**

Метод Бесселя заключается в следующем (рис.10).

***II***

*FI*

***I***

*АI АII*

*X*

*L > 4f*

*В*

*FII*

*А*

*ВII*

*ВI*

*Экран*

*X1*

*X2*

**Рис. 10**

Если установить на оптической скамье расстояние между предметом и экраном *L >* 4*f*, то всегда найдутся на этом участке два положения линзы, при которых на экране получаются четкие изображения предмета (в одном случае уменьшенное, а в другом – увеличенное).Если обозначить расстояние между этими двумя положениями линзы через X, то фокусное расстояние линзы определяется равенством

, (4)

где *L* – расстояние между предметом и экраном; *Х* – расстояние между двумя положениями линзы (увеличенного и уменьшенного изображения предмета); *f* – фокусное расстояние линзы.

Из этой формулы, измерив *L* и *Х*, можно найти *f*.

Выполнение:

* Разместите на оптической скамье осветитель, исследуемую линзу, экран.
* Установите значение *L* между осветителем и экраном.
* Отцентрируйте оптическую систему.
* Не изменяя расстояния *L*, а только передвигаялинзу, получите отчетливые изображения предмета. Сначала увеличенного (отметьте положение линзы по шкале – *Х1*), затем уменьшенного (отметьте положение линзы по шкале – *Х*2) (рис.10).
* Вычислите значения *Х = |Х2 – Х1|.* По значениям *Х* и *L* определите фокусное расстояние по формуле (4).
* Повторите измерения для трех различных значений *L*.
* Данные измерений и расчетов занесите в таблицу 2.

*Таблица 2*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***№*** | ***L*** | ***Х1*** | ***Х*2** | ***Х*** | ***f*** |
| 1. |  |  |  |  |  |
| 2. |  |  |  |  |  |
| 3. |  |  |  |  |  |
| *fср* | **–** | **–** | **–** | **–** |  |

* Определите погрешности при нахождении фокусного расстояния. Убедитесь, что они будут тем меньше, чем больше будет выбрана величина *L*.

**Задание 4.Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы с помощью параллельного пучка.**

Помещая в параллельный пучок рассеивающую линзу, получим расходящийся пучок света (рис.11). Тогда фокусное расстояние может быть определено по формуле:

, (5)

где *L* – расстояние от линзы до экрана; *d* – диаметр параллельного пучка на экране; *D* – диаметр пучка, после прохождения рассеивающей линзы.

L

D

*d*

**Рис.11**

Выполнение:

* Получите параллельный пучок света.
* Измерьте диаметр параллельного пучка *d* (рис.11).
* Разместите на пути светового пучка рассеивающую линзу.
* Отцентрируйте оптическую систему.
* Измерьте диаметр расширенного пучка *D* (рис.11).
* Одновременно с измерением *D* измерьте расстояние от линзы до экрана *L* (рис.11).
* По значениям *d*, *D* и *L* определите *f*по формуле (5)
* Повторите измерения для других *D* и *L*.
* Произведите расчет погрешностей.
* Данные измерений и расчетов занесите в таблицу 3.

*Таблица 3*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***№*** | ***d*** | ***D*** | ***L*** | ***f*** |
| 1. |  |  |  |  |
| 2. |  |  |  |  |
| 3. |  |  |  |  |
| *fср* |  | **–** | **–** |  |

**Задание 5.Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы с помощью собирающей линзы.**

С помощью собирающей линзы ***С*** получите изображение предмета на экране, находящемся на расстоянии *L1* от линзы ***С*** (рис. 12).

**Рис. 12**

*L2*

D2

*D1*

*С*

*L1*

*Р*

Экран 1

Экран 2

Далее на оптическую скамью между экраном в положении 1 и линзой С поставьте рассеивающую линзу ***Р***. Изображение предмета на экране исчезнет, но его можно получить, поместив экран на расстоянии *L2* от собирающей линзы (положение экрана 2).

Фокусное расстояние рассеивающей линзы определите по формуле:

 (6)

Выполнение:

* Разместите на оптической скамье осветитель, собирающую линзу, экран.
* Отцентрируйте оптическую систему.
* Получите четкое изображение предмета на экране.
* Вставьте между собирающей линзой и экраном рассеивающую линзу.
* Измерьте расстояние *D1* между рассеивающей линзой и экраном (Э1).
* Отодвиньте экран для получения четкого изображения предмета на нем (рис.12).
* Измерьте расстояние *D2* между рассеивающей линзой и экраном (Э2).
* Определите по формуле 6 фокусное расстояние линзы.
* Повторите измерения для трех различных положений собирающей линзы относительно осветителя.
* Определите погрешности при нахождении фокусного расстояния.
* Данные измерений и расчетов занесите в таблицу 4.

*Таблица 4*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***№*** | ***D1*** | ***D2*** | ***f*** |
| 1. |  |  |  |
| 2. |  |  |  |
| 3. |  |  |  |
| *Ср. зн.* |  |  |  |

**Контрольные вопросы для получения зачета:**

1. Для каких целей используется микроскоп и зрительная труба?
2. Каков принцип работы глаза как оптического устройства? Что называется аккомодацией глаза?
3. При каких условиях собирающая линза дает мнимое изображение?
4. Почему мнимое изображение нельзя получить на экране?
5. Как меняется величина изображения при удалении предмета от собирающей (рассеивающей) линзы?
6. Как изменится оптическая сила тонкой линзы, если ее поместить в воду?
7. Почему в опытах в качестве объекта нельзя использовать нить лампы?
8. Нарисуйте ход лучей в микроскопе.
9. Как изменятся фокусные расстояния и оптические силы двояковогнутой стеклянной линзы с радиусами кривизны *R1* и *R2*, если погрузить их в среду с показателем преломления *n2*.
10. Как изменятся фокусные расстояния и оптические силы двояковыпуклой стеклянной линзы с радиусами кривизны *R1*и *R2*, если погрузить их в среду с показателем преломления *n2*.
11. Показатель преломления одного сорта стекла равен 1,5, а другого – 1,7. Из того и другого стекла сделаны одинаковые по форме двояковыпуклые линзы. Найдите отношение фокусных расстояний этих линз.
12. Может ли двояко выпуклая линза имеет отрицательную оптическую силу?

**Контрольные задачи для получения зачета:**

* 1. Линза с фокусным расстоянием 16 см дает резкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми 60 см. Найти расстояние от предмета до экрана.
  2. Определить фокусное расстояние линзы и вид линзы, если *R1* = +20 см; *R*2 = –10 см.
  3. Линза с фокусным расстоянием *f* = 16 см дает резкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми *d* = 6 см. Найти расстояние *а1+а2* от предмета до экрана.
  4. Радиусы кривизны поверхностей двояковыпуклой линзы равны *R*1 = *R*2 = 50см. Показатель преломления материала линзы равен *n* = 1,5. Найти оптическую силу линзы.
  5. Определить фокусное расстояние линзы и вид линзы, если *R*1 = –10 см; *R*2 = +20 см. Найти фокусное расстояние линзы, погруженной в воду, если ее фокусное расстояние в воздухе 20 см. Показатель преломления материала линзы 1,6.
  6. Определить фокусное расстояние линзы и вид линзы, если *R1* = –10 см; *R*2 = ∞.

1. Предмет расположен на расстоянии *a*= 5 от линзы с фокусным расстоянием *f*=10см. На каком расстоянии *b* от линзы будет получено изображение? Чему при этом равно линейное увеличение? Каким будет изображение: прямым или обратным, действительным или мнимым?
2. Определить фокусное расстояние линзы и вид линзы, если *R1* = ∞; *R*2 = +10 см.

Плоско-выпуклая линза с радиусом кривизны 30 см и показателем преломления 1,5 дает изображение предмета с увеличением, равным 2. Найти расстояние предмета и изображения от линзы. Построить чертеж.