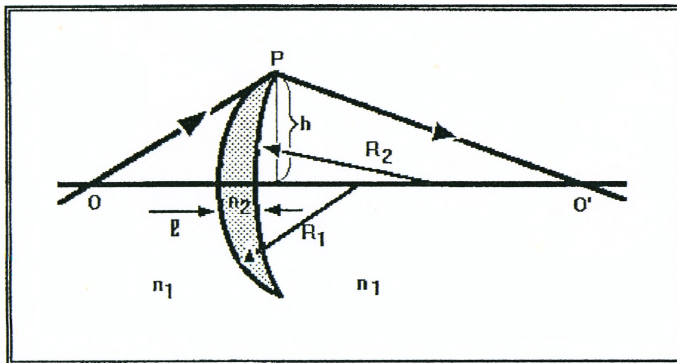


Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра физики

Методические указания к лабораторной работе 02  
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
СИСТЕМЫ ТОНКИХ ЛИНЗ»

для студентов технических специальностей  
дневной и заочной форм обучения



В методических указаниях приведено описание лабораторной работы О2 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ТОНКИХ ЛИНЗ», в которой изучаются основные характеристики линз и систем линз.

Лабораторная работа предназначена для всех технических специальностей дневной и заочной форм обучения БГТУ.

Автор благодарит за помощь в подготовке методических указаний доцента кафедры физики Чопчица Н.И., ассистента Поляченко В.В., зав. лабораториями Дынько В.Г.

Составитель: И.С.Янусик, старший преподаватель

Рецензент: В.С.Секержицкий, к.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики Брестского государственного университета

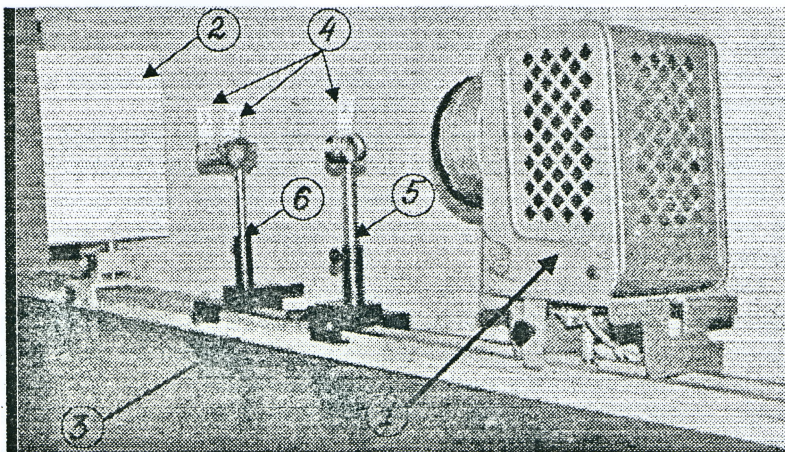
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 02

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ТОНКИХ ЛИНЗ

**1 Цель работы:** Определение фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз и основных характеристик оптических систем, составленных из этих линз.

**2 Приборы и принадлежности:** источник света со щелью в виде стрелки; экран; рейтер и масштабная линейка; набор линз (две собирающих и одна рассеивающая); два штатива для установки линз.

**3 Описание установки:**



1 - источник света со щелью; 2 - экран; 3 - рейтер и масштабная линейка;  
4 - набор линз; 5, 6 - штативы для установки линз.

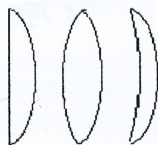
#### 4. Основные понятия и соотношения геометрической оптики.

В пределах обширного диапазона длин волн существует область видимого света, длина волн которого мала по сравнению с размерами приборов, с помощью которых изучают такие волны; более того, энергия одиночных фотонов, если говорить на языке квантовой механики, меньше порога чувствительности приборов. Это область геометрической оптики.

Данная лабораторная работа посвящена изучению основных характеристик линз и систем линз с помощью законов геометрической оптики.

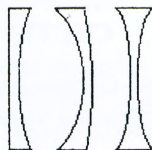
Сферической *линзой* называется кусок стекла из прозрачного материала с показателем преломления, отличным от показателя преломления окружающей среды, ограниченный сферическими поверхностями. Линза называется *тонкой*, если толщина линзы мала по сравнению с размерами сферических поверхностей, ограничивающих линзу. Линзы бывают собирающими (см. рис. 1) и рас-

между собой лучей в сходящийся пучок. Рассеивающая линза превращает пучок параллельных лучей в расходящийся пучок.



- а) б) в)  
 а) плосковыпуклая;  
 б) двояковыпуклая;  
 в) вогнутовыпуклая;

Рис. 1



- а) б) в)  
 а) плосковогнутая;  
 б) выпукловогнутая;  
 в) двояковогнутая;

Рис. 2

**Световой луч** в математическом смысле есть линия, вдоль которой распространяется свет. Это математическая абстракция.

**Оптический центр линзы** – точка, через которую лучи идут не преломляясь. Любая прямая, проходящая через оптический центр, называется *оптической осью*. Оптическая ось, проходящая через центры сфер, ограничивающих линзу, называется *главной оптической осью*, все остальные – *побочными оптическими осями*.

**Главным фокусом** (фокусом) – называется точка, где пересекаются после преломления в линзе лучи, падающие на неё параллельно главной оптической оси. Фокусов у линзы два: задний и передний. Они расположены соответственно за и перед линзой по ходу распространения светового луча.

Мы будем рассматривать *параксиальные* (приосевые) лучи, т.е. лучи, принадлежащие узкому световому пучку. Только для параксиальных лучей получается *стигматическое* изображение, т.е. все лучи, выходящие из какой-либо точки, пересекутся после прохождения линзы тоже в одной точке.

Формула тонкой линзы:

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

где  $F$  – фокусное расстояние линзы;  $d$  – расстояние от предмета до линзы;  $f$  – расстояние от линзы до экрана;

Величины  $F$ ,  $d$ ,  $f$ , входят в формулу (1) либо со знаком «+», либо со знаком «-».  $F$  берется со знаком «+» для собирающей линзы и со знаком «-» для рассеивающей линзы,  $f$  берется со знаком «+», если изображение действительное и со знаком «-», если оно мнимое. Действительным изображением источника называется точка пересечения прошедших через линзу лучей. Расстояние от предмета до линзы получается положительным ( $d > 0$ ) в том случае, если на линзу падает расходящийся пучок лучей (см. рис. 3), и  $d < 0$ , если на линзу падает сходящийся пучок лучей (см. рис. 4), в таком случае говорят, что источник мнимый.



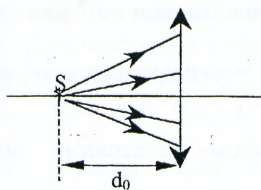


Рис. 3

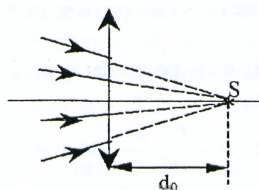


Рис. 4

Когда предмет расположен слишком близко к поверхности линзы, то лучи, исходящие из т. S преломляются на ее поверхности, но в фокусе не собираются. Они начинают расходиться так, как будто бы вышли из точки S'. Эта точка есть кажущееся изображение, которое мы называем *мнимым*.

**Оптическая сила линзы D** – величина обратная фокусному расстоянию.

$$D = \frac{1}{F} \quad (2), \quad [D] = \text{дптр} = \text{м}^{-1}$$

Для собирающей линзы  $D > 0$ , для рассеивающей  $D < 0$ . Теория дает следующее выражение для оптической силы линзы из материала с показателем преломления  $n$  в среде с показателем преломления  $n_{\text{среды}}$ .

$$D = \frac{1}{F} = \left( \frac{n_{\text{линзы}}}{n_{\text{среды}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (3).$$

Для воздуха  $n_{\text{среды}} = 1$ .

$R_1, R_2$  – радиусы сферических поверхностей, ограничивающих линзу. Радиусы кривизны входят в формулу (3) как алгебраические величины. По отношению к падающему лучу: выпуклым поверхностям соответствуют положительные значения, а вогнутым поверхностям – отрицательные. Для собирающей линзы  $R_2 < 0$  (см. рис. 5)

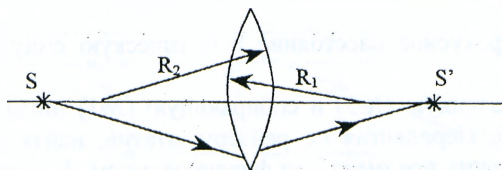


Рис. 5

Оптическая сила двух линз, сложенных вместе, равно алгебраической сумме оптических сил этих линз:

$$D = D_1 + D_2 \quad (4)$$

### 5. Задания для самостоятельной работы:

1. С помощью метода Бесселя (см. Приложение 1) рассчитать фокусные расстояния и оптические силы двух собирающих линз.

Для этого включить источник света со щелью в виде стрелки (которая и является предметом). Поместить поочередно собирающие линзы в штатив №5 и, передвигая его по рейтеру, получить на экране увеличенное и уменьшенное

изображение предмета. Измерить с помощью масштабной линейки расстояния  $d_1$  и  $d_2$ .

Измерения  $d_1$  и  $d_2$  рекомендуется сделать несколько раз и усреднить полученный результат.

По формуле  $F = \frac{L^2 - b^2}{4L}$  рассчитать фокусные расстояния собирающих линз  $F_1$  и  $F_2$ , где  $L$  – расстояние от предмета до экрана,  $b$  – расстояние между положениями линзы, когда на экране видно увеличенное и уменьшенное изображение предмета (подробнее см. Приложение 1).

По формуле (2) найти оптические силы  $D_1$  и  $D_2$  этих линз.

2. Используя метод наименьших квадратов, найти фокусное расстояние собирающей линзы №1(№2), в зависимости от расстояния до экрана (см. Приложение 3). Сравнить со значением  $F$ , найденном в предыдущем задании.

Для этого собирающую линзу №1(№2) поместить в штатив №5. Найти  $d_{1i}$  и  $d_{2i}$  для различных  $L_i$ . Данные занести в таблицу. Построить график зависимости  $Y_i$  от  $X_i$ . Расстояние  $L_i$  от предмета до экрана менять не менее 7 раз. Расчёт фокусного расстояния методом наименьших квадратов есть на компьютере (см. меню л/р 0-2).

3. Найти расстояние  $f_2$  (от второй собирающей линзы до экрана) для системы двух собирающих линз, находящихся на расстоянии  $g$  друг от друга при заданном  $d_1$  (расстояние от предмета до первой линзы) и сравнить с теоретическим значением  $f_{2г}$ , найденным по формуле (20) (см. Приложение 4).

Для этого собирающую линзу 1 поместить в штатив №5. Собирающую линзу №2 поместить в штатив №6. (Расстояния  $d_1$  и  $g$  выбрать самостоятельно).<sup>(1)</sup>

Перемещая по рейтеру экран, найти чёткое изображение предмета. Измерить  $f_2$ . Процедуру повторить несколько раз. Усреднить полученные результаты.

4. Определить фокусное расстояние и оптическую силу рассеивающей линзы.

Сложить рассеивающую (№3) и собирающую (№1) линзы вместе и поместить в штатив №5. Передвигая по рейтеру штатив, найти увеличенное и уменьшенное изображение предмета при фиксированном  $L$  (значение  $L$  выбрать самостоятельно). Используя формулы (2), (4), (6), рассчитать  $F$  и  $D$  для рассеивающей линзы.

5. Найти расстояние  $f_2$  для системы двух линз рассеивающей(№3) и собирающей (№2), находящихся на расстоянии  $g$  друг от друга при заданном  $d_1$ , и сравнить со значением  $f_{2г}$ , найденном по формуле (24), (см. Приложение 4).

<sup>(1)</sup> Рекомендуется значение  $d_1$  и  $g$  выбирать в следующих пределах:  $15\text{см} \leq d_1 \leq 40\text{см}$  и  $g > 30\text{см}$  или  $d_1 < 7\text{см}$  и  $g > 4\text{см}$ . В этом случае изображение, даваемое 1-й линзой, будет действительным источником для 2-й линзы.

Для того, чтобы изображение, даваемое 1-й линзой, было мнимым источником для второй линзы, рекомендуемые значения  $d_1$  и  $g$ :  $d_1 > 7\text{см}$  и  $g > 4\text{см}$ . При этом собирающие линзы №1 и №2 помещать в штатив №6. Передвигая по рейтеру экран, найти чёткое изображение источника. (см. Приложение №4).

Для этого, рассеивающую линзу (№3) поместить в штатив №5. Собирающую линзу(№2) поместить в штатив №6.(Расстояния  $d_1$  и  $g$  выбрать самостоятельно). Перемещая по рейтеру экран, найти чёткое изображение предмета. Измерить  $f_2$ . Процедуру повторить несколько раз. Усреднить полученные результаты.

6. Для собирающих линз №1 и №2 рассчитать радиусы сферических поверхностей, ограничивающих линзу по формуле (3), приняв  $n = 1,5$ . В данной лабораторной работе используются собирающие двояковыпуклые линзы (см. рис. 16).

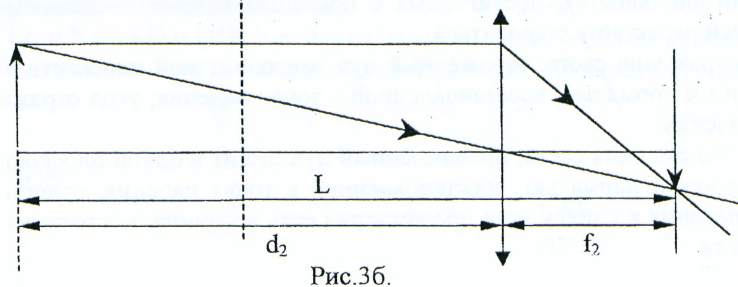
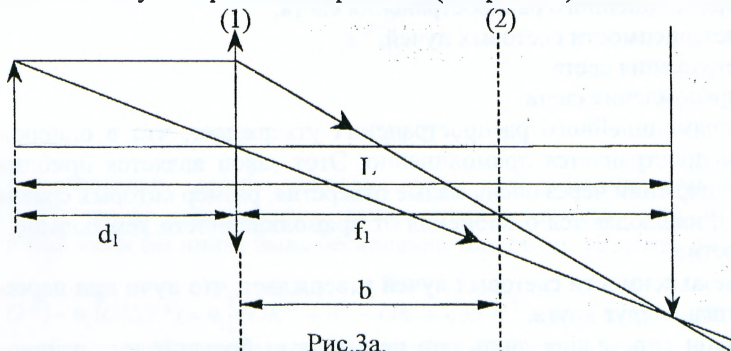
7\*. Определить фокусное расстояние и оптическую силу рассеивающей линзы, используя систему из линз: две собирающие и одна рассеивающая.

\* – дополнительное задание.

### Приложение 1.

#### Определение фокусных расстояний по методу Бесселя

Для определения фокусного расстояния тонких собирающих линз широко применяется *метод Бесселя*, суть которого состоит в следующем. Если расстояние между предметом и экраном больше или равно четырём фокусным расстояниям линзы, то, перемещая линзу между ними, можно получить на экране увеличенное и уменьшенное изображение предмета. Пусть расстояние между предметом и экраном фиксировано и равно  $L$  (см. рис. 3). Положение линзы 1 на рейтере соответствует увеличенному изображению предмета (см. рис. 3а), а 2 - уменьшенному изображению предмета (см. рис. 3б).



где,  $d_1$  - расстояние от предмета до линзы в положении 1;  $d_2$  - расстояние от предмета до линзы в положении 2.

Пусть  $b = d_2 - d_1$ , соответственно  $f_1$  и  $f_2$  – расстояния от линз в положении 1, 2 до экрана. Тогда, согласно (1) для ситуаций а), б) можно записать:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} \quad \text{и} \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$$

Очевидно, что  $L = d_1 + b + f_2$  и  $L = d_2 + f_1 - b$  (5)

Из закона обратимости световых лучей следует, что  $d_1 = f_2$  и  $d_2 = f_1$

Используя эти равенства и соотношения (5), получим выражение для фокусного расстояния в виде:

$$F = \frac{L^2 - b^2}{4L} \quad (6)$$

## Приложение 2.

Длины воспринимаемых глазом световых волн очень малы (приблизительно от 400 нм до 800 нм). Поэтому распространение видимого света можно в первом приближении рассматривать, отвлекаясь от его волновой природы и полагая, что свет распространяется вдоль некоторых линий, называемых *лучами*. В предельном случае, соответствующем  $\lambda \rightarrow 0$ , законы оптики можно сформулировать на языке геометрии. Изучению основных понятий и соотношений геометрической оптики и посвящена данная лабораторная работа.

Основу геометрической оптики образуют четыре закона:

- 1) закон прямолинейного распространения света;
- 2) закон независимости световых лучей;
- 3) закон отражения света;
- 4) закон преломления света.

Закон прямолинейного распространения утверждает, что в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Этот закон является приближённым: при прохождении через очень малые отверстия, размер которых сравним с длиной волны, наблюдаются отклонения от прямолинейности тем больше, чем меньше отверстие.

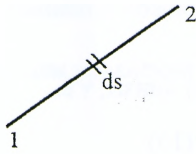
Закон независимости световых лучей утверждает, что лучи при пересечении не возмущают друг друга.

Этот закон справедлив лишь при не слишком больших интенсивностях света. При интенсивностях, достигаемых с помощью лазеров, независимость световых лучей перестаёт соблюдаться.

Закон отражения света: отражённый луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения; угол отражения равен углу падения.

Закон преломления света: преломлённый луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения; отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина, постоянная для данных веществ.





Для прохождения участка пути  $ds$  свету требуется время  $dt = \frac{ds}{v}$ , где  $v$  - скорость света в данной точке среды. Заменяя  $v = \frac{c}{n}$ ,  $dt = \frac{nds}{c}$ , тогда для прохождения участка пути от 1 до 2 свету нужно время:

$$\tau = \frac{1}{c} \int n ds \quad (7), \quad L = \int_1^2 n ds \quad (8).$$

Величину  $L$  называют *оптической длиной пути*.

С точки зрения интерференции света, получение стигматического изображения сводится к тому, что когерентные волны, излучаемые источником и проходящие через различные участки преломляющей поверхности, приходя в точку, где получается изображение, интерferируют, давая *max*. Это означает, что оптические длины путей всех волн должны быть одинаковы. Точнее, оптическая длина пути должна быть одинаковой для всех возможных путей. Рассмотрим линзу, изображённую на рис. 5.

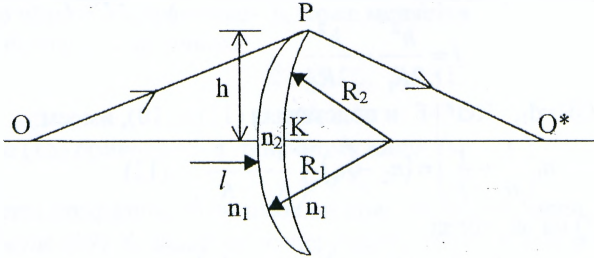


Рис. 5

Следовательно, для фокусировки пучка, исходящего из точки  $O$ , и приходящего в точку  $O^*$ , необходимо, чтобы оптические пути  $OPO^*$  и  $OKO^*$  были одинаковы. Если бы линза была бесконечно тонкой, то разность оптических путей

$$n_1(OPO^*) - n_1(OKO^*) = n_1 \left[ \sqrt{OK^2 + h^2} - OK + \sqrt{KO^{*2} + h^2} - KO^* \right] \quad (9)$$

где,  $n_1$  - абсолютный показатель преломления среды,  $n_2$  - абсолютный показатель преломления материала линзы.

Если  $h \ll KO$  и  $O^*K$  / т.е. пучок парааксиальный/, то извлекая из-под корня и ограничившись первым членом разложения в ряд Тейлора, получим:

$$\sqrt{OK^2 + h^2} \approx OK \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{OK^2} \right]$$

аналогично:

$$\sqrt{O^*K^2 + h^2} \approx O^*K \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{O^*K^2} \right],$$

Тогда разность (9) примет вид:

$$n_1(OPO^*) - n_1(OKO^*) = n_1 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{OK} + \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{OK} \right]$$

Эта разность должна быть скомпенсирована за счёт толщины линзы, т.е.

$$n_1 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{OK^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{OK^2} \right] = (n_2 - n_1) \cdot l \quad (10)$$

где,  $l$  - толщина линзы.

Можно выразить  $l$  через радиусы кривизны обеих поверхностей линзы  $R_1, R_2$ .

Условимся считать радиус положительным, если центр кривизны находится справа (по ходу лучей) от поверхностей (см. рис. 5) Тогда имеем:

$$l = \left( R_1 - \sqrt{R_1^2 - h^2} \right) - \left( R_2 - \sqrt{R_2^2 - h^2} \right)$$

Если  $h \ll R_1, R_2$ , то, по-прежнему извлекая  $R$  из-под корня и ограничившись первым членом разложения в ряд Тейлора, получим:

$$\sqrt{R_1^2 - h^2} \approx R_1 \left( 1 - \frac{h^2}{2R_1^2} \right) \quad \text{и} \quad \sqrt{R_2^2 - h^2} \approx R_2 \left( 1 - \frac{h^2}{2R_2^2} \right) \quad (11)$$

Поэтому:

$$l = \frac{h^2}{2R_1} - \frac{h^2}{2R_2}$$

Принимая  $OK=d_1$ ,  $KO^*=f$  и подставляя (11) в (10), имеем:

$$n_1 \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \right) = (n_2 - n_1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (12)$$

Разделим (12) на  $n_1$ , тогда

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Если мы имеем пучок параллельных лучей, то  $d=\infty$  и все лучи после линзы пройдут через одну точку (фокус линзы). Таким образом, можно записать:

$$D = \frac{1}{F} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (3)$$

где  $D$  - оптическая сила линзы,  $F$  - фокусное расстояние линзы,  $\frac{n_2}{n_1} = n_{21}$  - показатель преломления материала линзы относительно среды. В данной лабораторной работе принимаем показатель преломления среды  $n_1=1$ .

### Приложение 3

#### Метод наименьших квадратов.

Рассмотрим формулу тонкой линзы (1), при фиксированном положении между предметом и экраном, когда на экране видно чёткое изображение предмета  $f=L-d$ , в этом случае:

$$F = \frac{d(L-d)}{L} \quad (13)$$

это уравнение можно привести к виду:

$$d^2 - dL + FL = 0 \quad (14)$$

Решением уравнения являются два значения  $d_1$  и  $d_2$

$$d_{1,2} = \frac{L \pm \sqrt{L^2 - 4FL}}{2} \quad (15)$$

Естественно, решение имеет действительные значения (что соответствует действительному изображению), если дискриминант больше нуля, т. е., если  $L > 4F$ .

По методу Бесселя, расстояние между положениями линз, когда на экране будут чёткие изображения предмета, будет равно:

$$b = d_2 - d_1 = \frac{L + \sqrt{L^2 - 4FL}}{2} - \frac{L - \sqrt{L^2 - 4FL}}{2} = \sqrt{L^2 - 4FL},$$

Отсюда

$$b^2 = L^2 - 4FL \quad (16)$$

Для определения фокусного расстояния тонких линз методом наименьших квадратов, расстояние между предметом и изображением изменяется  $n$ -раз с определённым шагом  $h$ , при этом, в  $i$ -том опыте при расстоянии между источником и изображением  $L_{1i}$ , расстояние между положениями линз, когда на экране видно чёткое изображение-  $b_i$ , тоже меняется.

Если обозначить величины

$$L_i^2 - b_i^2 = Y_i, \quad (17),$$

$$4L_i = X_i \quad (18)$$

То уравнение (16) приводится к линейному виду:

$$Y_i = FX_i \quad (19),$$

где  $F$  – является коэффициентом наклона прямой, проходящей через  $O$ .

В формуле (19)  $X_i$  задаётся экспериментатором, а  $Y_i$  можно рассчитать по формуле (16) по измеренным  $d_{1i}$  и  $d_{2i}$ . Следовательно, величина  $F$  сразу может быть вычислена по формуле  $F = \frac{Y_i}{X_i}$ . Понятно, что один раз проведённое изме-

рение  $d_{1i}$  и  $d_{2i}$  и расчёт фокусного расстояния не даст точного результата. Поэтому необходимо провести серию измерений, задавая ряд значений  $X_i$  и вычисляя соответствующие значения  $Y_i$ . Наилучшее значение фокусного расстояния можно получить, используя метод наименьших квадратов. Суть его в следующем.

Нанесём на график значения  $X_i$  и вычисленные значения  $Y_i$ . В соответствии с формулой (19) зависимость между  $Y_i$  и  $X_i$  должна быть линейной. Наша задача состоит в том, чтобы найти такое значение  $F$ , при котором прямая  $Y = FX$  наилучшим образом удовлетворяла бы полученным экспериментальным точкам, т.е. наиболее близко проходила между точками, нанесёнными на график.

По методу наименьших квадратов значение  $F$  подбирается таким образом, чтобы сумма квадратов разностей теоретических значений  $Y_i = FX_i$  и значений  $Y_i$ , найденных по формуле (17) была бы минимальной:

$$S = \sum_{i=1}^n (FX_i - y_i)^2 \rightarrow \min$$

Условия минимума имеют вид:

$$\frac{\partial S}{\partial F} = 0; \quad 2 \sum_{i=1}^n (F x_i - y_i) x_i = 0$$

$$F \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i x_i = 0$$

тогда формула для нахождения фокусного расстояния методом наименьших квадратов окончательно примет вид :

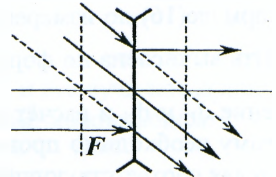
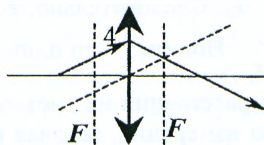
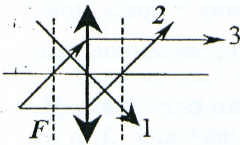
$$F = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (20)$$

## Приложение 4

### Построение изображения в системах линз.

Построение изображения предмета в линзах осуществляется с помощью следующих лучей:

- 1) луча, проходящего через оптический центр линзы и не изменяющего своего направления;
- 2) луча, идущего параллельно главной оптической оси. После преломления в линзе этот луч (или его продолжение) проходит через второй фокус линзы;
- 3) луча (или его продолжения), проходящего через 1-й фокус линзы, после преломления в ней он выходит из линзы параллельно её главной оптической оси;
- 4) луча, падающего на линзу произвольно, после преломления в линзе, этот луч пройдет через точку пересечения побочной оптической оси (проведённой через оптический центр параллельно падающему лучу) и фокальной плоскости, расположенной за линзой.



В случае комбинации тонких линз две линзы располагаются друг за другом. Формула тонкой линзы (1) применяется последовательно к каждой линзе, причем изображение, создаваемое первой линзой, является предметом для второй.

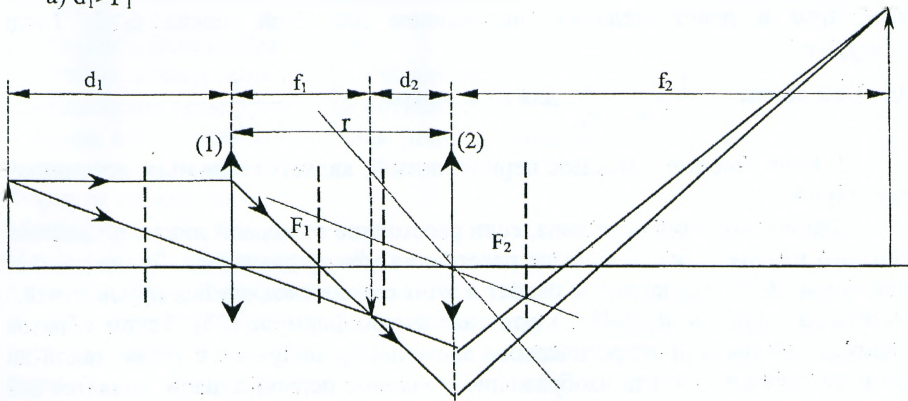
### Две собирающие линзы, расположенные на расстоянии $r$ друг от друга.

Рассмотрим два случая:

1. Изображение, даваемое первой линзой, является действительным источником для второй линзы.



a)  $d_1 > F_1$



Для первой собирающей линзы можем записать:

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

тогда  $f_1 = \frac{d_1 F_1}{d_1 - F_1}$  (21). Из рис. видно, что  $d_2 = r - f_1$  (22)

Для 2-ой собирающей линзы запишем:

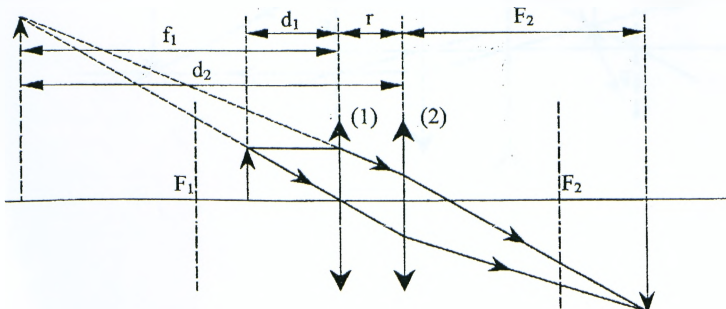
$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2} - \frac{1}{d_2} \Rightarrow f_2 = \frac{d_2 F_2}{d_2 - F_2} \quad (23)$$

С учетом (21), (22), перепишем формулу (23)

$$f_{2r} = \frac{F_2 [d_1 r - F_1 (r + d_1)]}{d_1 r - F_1 (r + d_1) - F_2 d_1 + F_1 F_2} \quad (24)$$

Таким образом, мы получим формулу для теоретического расчета расстояния  $f_2$  от второй собирающей линзы до изображения.

б)  $d_1 < F_1$



Для случая, если  $d_1 < F_1$ , изображение, даваемое 1-ой линзой, будет мнимым,  $f_1 < 0$  и действительным источником для 2-ой линзы  $d_2 > 0$ . Тогда,  $d_2 = f_1 - r$ .

Для 1-ой линзы  $\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{f_1}$ , для 2-ой линзы  $\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$ .

2. Изображение, даваемое первой линзой, является мнимым источником для второй.

Данная ситуация возможна, если расстояние от первой линзы до действительного изображения  $f_1$  больше расстояния между линзами  $r$ . Тогда для второй линзы  $d_2 < 0$ , т.к. на линзу падает в этом случае сходящийся пучок лучей, и мы можем записать:  $d_2 = -(f_1 - r)$ , что аналогично формуле (22). Таким образом, формула для расчёта теоретического значения  $f_{2T}$  получается точно такой же, как и для случая 1, когда изображение, даваемое первой линзой, является действительным источником для второй (см. формулу (24)).

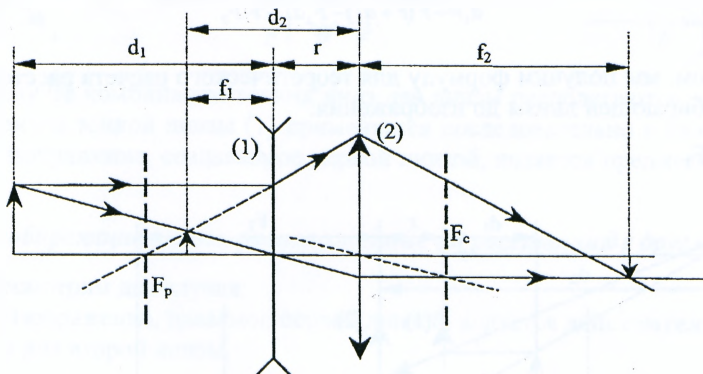
*Две линзы рассеивающая и собирающая, находятся на расстоянии  $r$  друг от друга.*

Для 1-ой рассеивающей линзы:  $-\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{f_1}$

Для 2-ой собирающей линзы:  $\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$

$$d_2 = f_1 + r$$

Чтобы получить теоретическое значение  $f_{2T}$  для системы линз рассеивающей и собирающей, находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга, нужно в формулу (24) подставить значение фокусного расстояния рассеивающей линзы, взятые со знаком “-”.



### *Контрольные вопросы*

1. Какая линза называется тонкой?
2. Основные законы геометрической оптики?
3. Приближения геометрической оптики?
4. В каком случае двояковыпуклая (плосковыпуклая, вогнутовыпуклая) линза является рассеивающей?
5. Формула тонкой линзы?
6. Метод Бесселя?
7. Метод наименьших квадратов?
8. Каковы правила определения знаков  $F$ ,  $d$ ,  $f$ ,  $R$ ,  $D$  в формуле тонкой линзы?
9. В каком случае изображение для системы двух собирающих линз, даваемое первой линзой будет действительным (мнимым) источником для второй линзы?
10. Построить изображение для системы двух собирающих линз в случае, когда изображение, даваемое первой линзой, является мнимым источником для второй линзы.
11. Вывести формулу для фокусных расстояний линзы, с одной стороны которой находится воздух, с другой стороны – вода.

### *Литература.*

1. Савельев И.В. Курс общей физики.
2. Трофимова Т.И. Курс физики.
3. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составитель: Янусик Ирина Семеновна

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
СИСТЕМЫ ТОНКИХ ЛИНЗ»**

Методические указания по выполнению лабораторной работы О2  
для студентов технических специальностей  
дневной и заочной форм обучения

Ответственный за выпуск Янусик И.С.  
Редактор Строкач Т.В.

---

Подписано к печати 17.12.2003 г. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,93. Уч. изд. Л. 1,0. Заказ № 96. Тираж 150 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет», 224017, г. Брест, ул. Московская, 267