



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Методические указания

к практическим занятиям

по дисциплине

«Физика»

Лабораторная работа № 62 «Законы линз и оптических приборов»

Авторы

Снежков В. И.,

Брылева М. А.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Указания содержат краткую теорию по теме «Законы линз и оптических приборов», описание рабочей установки и методику эксперимента.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» для выполнения лабораторной работы по программе курса общей физики.

Авторы

д.ф.-м.н., профессор В.И. Снежков

к.ф.-м.н., доцент М.А. Брылева





Оглавление

Лабораторная работа № 62.....	4
-------------------------------	---

Лабораторная работа № 62

ЗАКОНЫ ЛИНЗ И ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Цель работы: Изучение методов построения изображения в линзах, исходя из законов геометрической оптики, моделирование оптических систем, определение фокусных расстояний различных линз.

Приборы и принадлежности: Светильник со стержнем, источник питания 0-12В DC/ 6В, 12 В AC, оптическая скамья, набор собирающих и рассеивающих линз с различными фокусными расстояниями, экран полупрозрачный, объект со стрелкой, объект матовое стекло, объект для калибровки, слайд «Императора Максимилиан», линейка.

1. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Свет представляет собой электромагнитное излучение, которому присущ дуализм, т.е. свет обладает как свойствами электромагнитной волны, так и свойствами корпускул (фотонов). Поведение фотонов может быть описано законами механики и характеризоваться такими понятиями как траектория, импульс, масса и т.д. Корпускулярные свойства света ярче проявляются с уменьшением длины волны. В свободном пространстве фотоны движутся, в соответствии с законами механики, по прямолинейным траекториям, которые в оптике принято называть лучами света.

В основе оптотехники лежат установленные на опыте основные законы оптических явлений. Сущность этих законов сводится к следующему:

- Закон прямолинейного распространения света:

Свет в прозрачной однородной среде распространяется по прямым линиям.

- Закон независимости световых пучков:

Распространение всякого светового пучка в среде совершенно не зависит от того, есть ли в среде другие световые пучки. Освещенность, задаваемая несколькими световыми пучками, равна сумме освещенностей, создаваемых каждым пучком в отдельности.

- Закон отражения света:

Когда луч света достигает плоской границы раздела двух прозрачных сред, он частично проходит во вторую среду (преломляется), частично возвращается в исходную среду (отражается).

Под лучом понимается достаточно узкий световой пучок, который еще может существовать изолированно от других пучков светового потока.

Закон отражения утверждает: падающий и отраженный луч лежат в одной плоскости с нормалью к границе раздела в точке падения (эта плоскость называется плоскостью падения); угол падения i равен углу отражения i' (рис. 1):

$$i = i'.$$

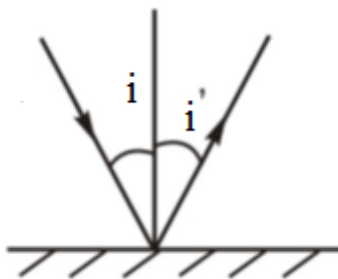


Рис. 1. Закон отражения света

- Закон преломления света:

Преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью, восстановленной в точке падения, при этом отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная, равная отношению показателя преломления второй среды, к показателю преломления первой среды (рис. 2):

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (n_2 > n_1)$$

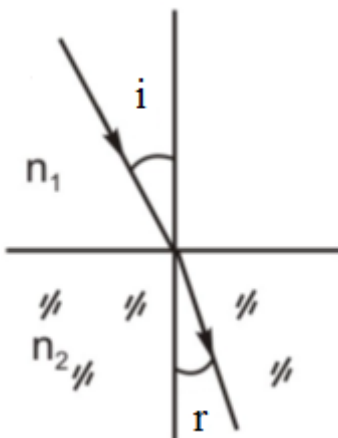


Рис. 2. Закон преломления света

Элементами многих оптических устройств являются линзы – прозрачные тела, ограниченные криволинейными (сферическими или цилиндрическими) преломляющими поверхностями. По внешней форме линзы делятся на двояковыпуклые, плосковыпуклые, двояковогнутые, плосковогнутые, выпукло-вогнутые, вогнуто-выпуклые.

По оптическим свойствам линзы делятся на собирающие и рассеивающие. Линза называется тонкой, если её толщина значительно меньше радиусов ограничивающих её сферических поверхностей. Прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется главной оптической осью. Точка, лежащая на главной оптической оси и лучи, идущие через неё, не изменяют своего хода. Эта точка называется оптическим центром линзы. Любая прямая, проходящая через оптический центр линзы, но не проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется побочной оптической осью.

Точка на главной оптической оси, где пересекаются, вышедшие из линзы лучи (или их продолжения), если падающие лучи были параллельны главной оптической оси, называется фокусом F линзы, а расстояние от фокуса до оптического центра линзы – фокусным расстоянием f . Фокус линзы, лежащий со стороны падающих на нее лучей, называется передним фокусом, а фокус, лежащий за линзой – задним фокусом. Принято считать, что в собирающих линзах фокусы действительные, а в рассеивающих – мнимые.

Если лучи, вышедшие из линзы, отклоняются в сторону

главной оптической оси, то такая линза называется собирающей; если лучи после линзы оказываются расходящимися, т.е. отклоняются в сторону от главной оптической оси, то такая линза называется рассеивающей (рис.3,4).

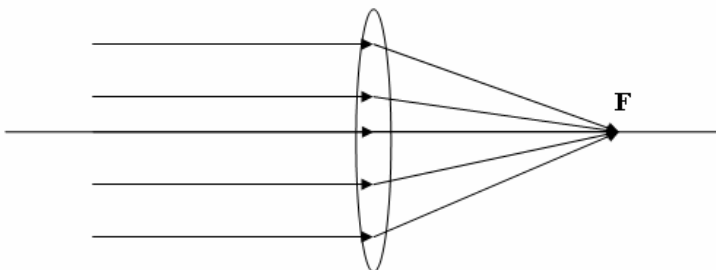


Рис.3. Собирающая линза.

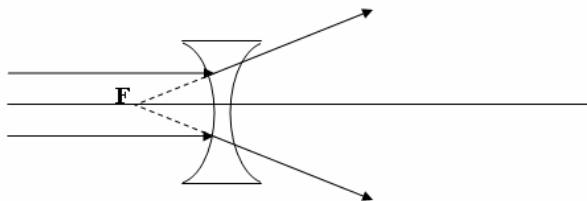


Рис.4. Рассеивающая линза.

Плоскость, проведенная через фокус перпендикулярно главной оптической оси, называют фокальной плоскостью.

Рассмотрим собирающую линзу. На рис.5 показан ход лучей в собирающей линзе. Основное соотношение между параметрами, описывающими свойства таких линз:

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

где a - расстояние от предмета до линзы; b' - расстояние от линзы до изображения; f - фокусное расстояние.

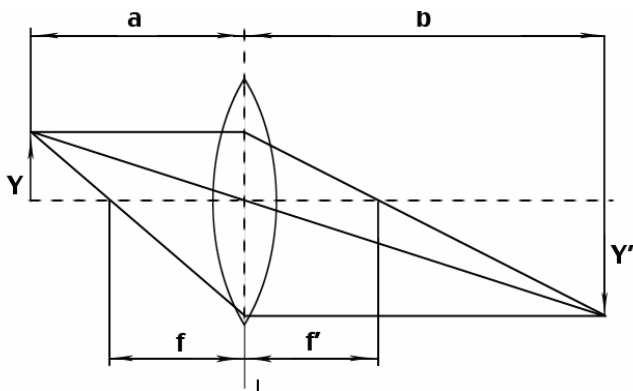


Рис.5. Ход лучей в собирающей линзе

Формула тонкой линзы, учитывающая параметры линзы (радиусы кривизны и показатель преломления материала линзы):

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (2)$$

где n - относительный показатель преломления линзы, R_1 и R_2 - радиусы кривизны поверхностей линзы (рис 6).

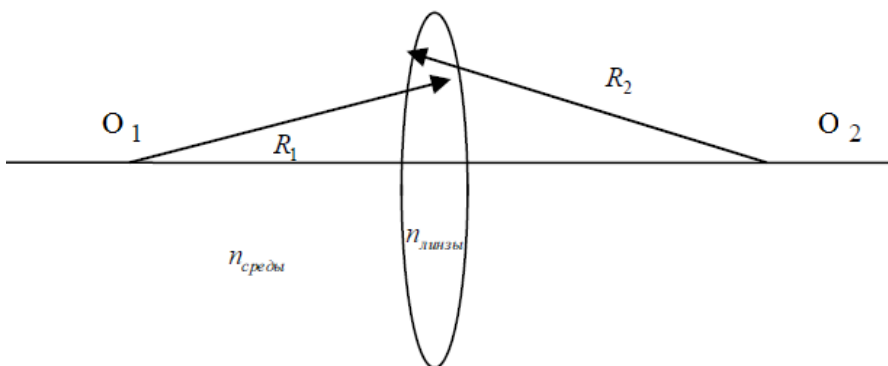


Рис.6. Расположение радиусов кривизны относительно оптических центров O_1 и O_2

a - расстояние от линзы до предмета считается величиной положительной ($a > 0$); фокусное расстояние собирающей линзы считается величиной положительной ($f > 0$), а фокусное расстояние рассеивающей линзы - отрицательной ($f < 0$). Радиусы кривизны выпуклых поверхностей линзы считаются положительными, а вогнутые - отрицательными.

Если в результате расчета по формуле (1) расстояние b от линзы до изображения оказывается положительным ($b > 0$), то такое изображение называется действительным, оно находится по другую сторону от линзы, нежели предмет; если же расстояние b оказывается отрицательным ($b < 0$), то изображение называют мнимым, оно находится с той же стороны от линзы, что и предмет. При таком выборе знаков формула линзы позволяет не только быстро определять одну из трех входящих в нее величин по двум заданным другим, но и оценивать характер полученного изображения.

Для построения изображения какой-нибудь точки предмета достаточно проследить ход любых двух лучей до попадания на линзу и после преломления в ней, а изображение протяженного предмета может быть найдено как совокупность изображений отдельных его точек.

Характеристикой линзы является её оптическая сила:

$$D = \frac{1}{f}$$

Оптическая сила измеряется в диоптриях (**дптр**). Линзы с положительной оптической силой принято считать собирающими, с отрицательной – рассеивающими.

Метод Бесселя (метод определения фокусного расстояния линзы).

Если расстояние между предметом и экраном больше четырех фокусных расстояний линзы, то, перемещая собирающую линзу, можно найти для нее такие положения 1 и 2 (рис 7), при которых на экране получается два четких изображения предмета: одно увеличенное (линза находится в положении 1), другое уменьшенное (линза находится в положении 2).

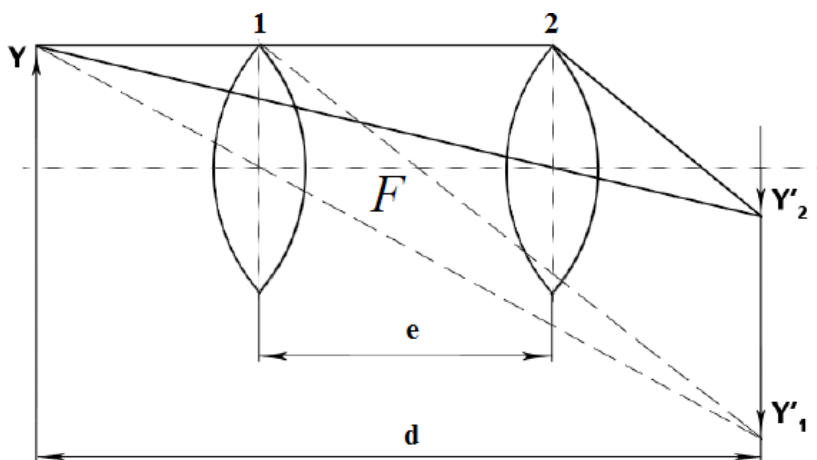


Рис.7. Методом Бесселя (схема определения фокусного расстояния)

Принимая во внимание обозначения на рис. 7 по формуле (1) для обоих положений линзы, находим выражение для фокусного расстояния:

$$f = \frac{d^2 - e^2}{4d} \quad (3)$$

Другой характеристикой линзы является понятие её линейного увеличения.

Из подобия прямоугольных треугольников (рис.5.) видно, что отношение размеров предмета u к размерам изображения y' равно отношению расстояния от предмета до линзы к расстоянию от линзы до изображения (коэффициент линейного увеличения):

$$K = \frac{y}{y'} = \frac{a}{b} \quad (4)$$

С учетом (1) и (4) получим:

$$K = \frac{y}{y'} = \frac{f}{b-f} \quad (5)$$

Откуда получаем фокусное расстояние линзы:

$$f = b \frac{y}{y + y'} \quad (6)$$

Этот метод называется **методом Аббе**.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ



Рис.8.Общий вид установки

В состав установки входят следующие приборы: набор линз: с фокусом +20мм, с фокусом +100мм, с фокусом +300мм, с фокусом -200мм, держатель для линзы, держатель для диафрагмы, держатель для конденсоров, двойной конденсор, осветитель с источником питания, объект со стрелкой, слайд «Император Максимилиан», оптическая скамья и экран. Линзы в оправках, осветитель и экран из матового стекла могут перемещаться вдоль оптической скамьи. Расстояния между элементами рабочей схемы отсчитываются с помощью измерительной линейки, входящей в состав установки.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Будем считать, что все линзы закреплены в оправках так, что их оптические центры располагается на одной прямой, проходящей через середину оправы.

При расчете погрешностей определения фокусных расстоя-

ний надо иметь в виду, что эти величины являются косвенными, следовательно, их абсолютные погрешности определяются методом частных производных по переменным ***a, b, d, e, y*** и ***y'***.

Опыт 1. Определение фокусного расстояния f собирающей линзы по измерению расстояний от предмета до линзы и от линзы до изображения.

1. Установите собирающую линзу в оправе между экраном со стрелкой (предметом) и экраном из матового стекла.

Включите осветитель.

2. Перемещая линзу по рейкам оптической скамьи, получите на экране изображение предмета – стрелки.

3. С помощью линейки измерьте расстояние от экрана с предметом - стрелкой до середины оправы с линзой ***a***.

4. Измерьте линейкой расстояние от середины оправы с линзой до матового экрана, на котором получено четкое изображение предмета – стрелки ***b***.

5. Измерения проведите не менее 5 раз. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерений.

№ п/п	<i>a, см</i>	<i>b, см</i>
1		
2		
3		
4		
5		

Рассчитайте величины фокусных расстояний ***f***:

$$f = \frac{ab}{a+b}$$

Абсолютную погрешность находим через частные производные по переменным ***a*** и ***b***:

$\frac{\partial f}{\partial a} = \left(\frac{b}{a+b}\right)^2$, $\frac{\partial f}{\partial b} = \left(\frac{a}{a+b}\right)^2$, тогда абсолютная погрешность метода будет равна:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial f}{\partial b} \Delta b$$

Надо принять во внимание, что значения величин a , b , – прямые измерения. Их абсолютные погрешности Δa и Δb находятся как сумма среднеквадратичной погрешности σ_a и σ_b , и приборной погрешности $(\Delta a)_{\text{приборная}}$ и $(\Delta b)_{\text{приборная}}$, Приборная погрешность, как правило, указывается на измерительном приборе. Если на приборе не указана точность, то следует брать половину цены наименьшего деления измерительной линейки.

Следовательно:

$$\Delta a = \sigma_a + (\Delta a)_{\text{приборная}}$$

$$\Delta b = \sigma_b + (\Delta b)_{\text{приборная}},$$

Где

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum \Delta a_i^2}{n(n-1)}}, \quad \sigma_b = \sqrt{\frac{\sum \Delta b_i^2}{n(n-1)}},$$

Δa_i и Δb_i абсолютные погрешности i -ых измерений величин a и b , n - число измерений.

Относительная погрешность определения f рассчитывается по формуле:

$$\delta f = \frac{\Delta f}{f_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \quad \text{где } f_{\text{ср}} = \sum \frac{f_i}{n}.$$

Окончательный результат запишите в виде:

$$f = f_{\text{ср}} \pm \Delta f.$$

Опыт 2. Определение фокусного расстояния f собирающей линзы **методом Бесселя**.

1. Установите собирающую линзу в оправе (вплотную с предметом) между направляющими рейками на оптической скамье. Включите осветитель.

2. Перемещая линзу и предмет вдоль направляющих реек, получите на экране увеличенное обратное изображение предмета – стрелки.

3. Используя линейку, измерьте расстояние от осветителя до экрана с изображением предмета d (см. обозначения на рис. 7).

4. Зафиксируйте расстояние от предмета с линзой (a), соответствующее положению 1 линзы на рисунке 7.

5. Перемещайте линзу и предмет вдоль оптической скамьи в направлении экрана, получите на экране уменьшенное обратное изображение предмета – стрелки.

6. Зафиксируйте расстояние от предмета с линзой a' , соответствующее положению 2 линзы на рис. 7.

7. Вычислите расстояние $e = a' - a$.

8. Опыт повторите не менее 5 раз. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты измерений

№ п/п	$d, \text{см}$	$a, \text{см}$	$a', \text{см}$	$e, \text{см}$
1				
2				
3				
4				
5				

Рассчитайте величины фокусных расстояний f .

$$f = \frac{d^2 - e^2}{4d}$$

Абсолютную погрешность находим через частные производные по переменным d, e по аналогии как в опыте 1.

Тогда абсолютная погрешность метода будет равна:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial d} \Delta d + \frac{\partial f}{\partial e} \Delta e$$

Относительная погрешность определения f рассчитывается по формуле:

$$\delta f = \frac{\Delta f}{f_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \text{ где } f_{\text{ср}} = \sum \frac{f_i}{n}.$$

Окончательный результат запишите в виде:

$$f = f_{\text{ср}} \pm \Delta f.$$

Опыт 3. Определение фокусного расстояния f собирающей линзы по величине предмета (стрелки) y , величине его изображения на экране y' и по расстоянию b от линзы изображения (метод Аббе).

1. Установите собирающую линзу в оправе между направляющими рейками на оптической скамье. Включите осветитель.
2. Перемещая линзу вдоль направляющих реек, получите на экране увеличенное изображение предмета – стрелки.
3. Измерьте расстояние от линзы до экрана с полученным увеличенным изображением b .
4. Измерьте линейкой размер предмета (стрелки) y и размер его увеличенного изображения y' .
5. Опыт повторите не менее 5 раз. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты измерений.

№ п/п	$b, \text{см}$	$y, \text{см}$	$y', \text{см}$
1			
2			
3			
4			
5			

Рассчитайте величины фокусных расстояний f :

$$f = b \frac{y}{y + y'}$$

Абсолютную погрешность находим через частные производные по переменным b, y, y' :

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \frac{y}{y + y'}, \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{b(y + y') - by}{(y + y')^2}, \quad \frac{\partial f}{\partial y'} = -\frac{by}{(y + y')^2}$$

тогда абсолютная погрешность метода будет равна:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial f}{\partial y'} \Delta y'$$

Абсолютные погрешности $\Delta b, \Delta y, \Delta y'$ находятся как сумма среднеквадратичной погрешности σ_b, σ_y и $\sigma_{y'}$, и приборной погрешности $(\Delta b)_{\text{приборная}}, (\Delta y)_{\text{приборная}}$ и $(\Delta y')_{\text{приборная}}$. Приборная погрешность, как правило, указывается на измерительном приборе.

Следовательно:

$$\Delta b = \sigma_b + (\Delta b)_{\text{приборная}}$$

$$\Delta y = \sigma_y + (\Delta y)_{\text{приборная}},$$

$$\Delta y' = \sigma_{y'} + (\Delta y')_{\text{приборная}},$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum \Delta b_i^2}{n(n-1)}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y_i^2}{n(n-1)}}, \quad \sigma_{y'} = \sqrt{\frac{\sum \Delta y_i'^2}{n(n-1)}}$$

Где

Δb_i , Δy_i и $\Delta y_i'$, абсолютные погрешности i -ых измерений величин b , y и y' , n - число измерений.

Относительная погрешность определения f рассчитывается по формуле:

$$\delta f = \frac{\Delta f}{f_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \quad \text{где } f_{\text{ср}} = \frac{\sum f_i}{n}.$$

Окончательный результат запишите в виде:

$$f = f_{\text{ср}} \pm \Delta f.$$

Опыт 4. Определение фокусного расстояния f рассеивающей линзы с помощью собирающей линзы.

1. Установите на оптической скамье собирающую и вплотную к ней рассеивающую линзы. Включите осветитель.
2. Передвигая линзы и экран, получите четкое изображение предмета.
3. Измерьте расстояние от предмета до экрана x_1 и от предмета до рассеивающей линзы x_2 .
4. Уберите рассеивающую линзу.
5. Перемещая собирающую линзу, получите четкое изображение предмета на экране.
6. Измерьте расстояние от предмета до собирающей линзы x_3 .
7. Вычислить расстояния $a = x_1 - x_2$ и $b = x_1 - x_3$.
8. Опыт повторите не менее 3 раз. Результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4. Результаты измерений

№ п/п	x_1, CM	x_2, CM	x_3, CM	a, CM	b, CM
1					
2					
3					
4					
5					

Рассчитайте величины фокусных расстояний f :

$$f = \frac{ab}{a-b}$$

Запишем частную производную от этого выражения по переменной a , принимая b – постоянной:

тогда абсолютная погрешность метода будет равна:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial a} \Delta a - \frac{\partial f}{\partial b} \Delta b$$

Надо принять во внимание, что значения величин a , b , – прямые измерения. Их абсолютные погрешности Δa и Δb находятся как сумма среднеквадратичной погрешности σ_a и σ_b , и приборной погрешности $(\Delta a)_{\text{приборная}}$ и $(\Delta b)_{\text{приборная}}$, Приборная погрешность, как правило, указывается на измерительном приборе. Если на приборе не указана точность, то следует брать половину цены наименьшего деления измерительной линейки.

Следовательно:

$$\Delta a = \sigma_a + (\Delta a)_{\text{приборная}}$$

$$\Delta b = \sigma_b + (\Delta b)_{\text{приборная}}$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum \Delta a_i^2}{n(n-1)}}, \quad \sigma_b = \sqrt{\frac{\sum \Delta b_i^2}{n(n-1)}},$$

где

Δa_i и Δb_i абсолютные погрешности i -ых измерений величин a и b , n – число измерений.

Относительная погрешность определения f рассчитывается по формуле:

$$\delta f = \frac{\Delta f}{f_{\text{cp}}} \cdot 100\%, \quad \text{где } f_{\text{cp}} = \sum \frac{f_i}{n}.$$

Окончательный результат за- пишите в виде:

$$f = f_{cp} \pm \Delta f.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТЫ

1. Как формулируются основные законы геометрической оптики ?
2. Какие бывают линзы; каковы их особенности?
3. Какие изображения предмета могут быть получены в различных линзах, от чего это зависит?
4. Как изменяется положение изображения при изменении расстояния от предмета до рассеивающей линзы?
5. За счет чего в данной работе возникают наибольшие погрешности и как это учитывается при расчете результатов?
6. Какова область применения различных линз и их сочетаний?
7. Для тестов, приведенных далее, выберите правильный вариант ответа:

ЗАДАНИЕ № 1

Определить угол отражения света, если угол между падающим лучом и отражающей поверхностью равен 50° .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

А. 50° Б. 0° В. 40° Г. 130°

ЗАДАНИЕ № 2

Луч света переходит из воздуха в воду. Определить угол падения света на поверхность воды, если угол преломления равен 18° .

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

А. 18° Б. 36° В. 25° Г. 0°

ЗАДАНИЕ № 3

При переходе из более плотной оптической среды в оптически менее плотную...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. угол падения больше чем угол преломления;
- Б. угол падения меньше чем угол преломления;
- В. ни от чего не зависит;
- Г. угол падения равен углу преломления.

ЗАДАНИЕ № 4

Определите предельный угол падения для луча, переходящего из стекла в воду.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

А. 34° Б. 45° В. 63° Г. 78°

ЗАДАНИЕ № 5

Угол полного отражения зависит...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. от показателя преломления сред;
- Б. от угла преломления;
- В. Ни от чего не зависит;
- Г. от угла преломления и показателя преломления.

ЗАДАНИЕ № 6

Если луч переходит через следующие среды: вода – стекло – алмаз – вода, то...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. угол, под которым выходит луч, больше, чем угол падения луча на первую среду;
- Б. угол, под которым выходит луч, равен углу падения луча на первую среду;
- В. угол, под которым выходит луч, меньше, чем угол падения луча на первую среду;
- Г. угол падения равен углу отражения.

ЗАДАНИЕ № 7

Угол между падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным в точке падения, называется...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. угол падения;
- Б. угол преломления;
- В. угол отражения;
- Г. предельный угол.

ЗАДАНИЕ № 8

Прямая, проходящая через оптический центр линзы, называется...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. главной оптической осью;
- Б. побочной оптической осью;
- В. световым лучом;
- Г. фокусное расстояние.

ЗАДАНИЕ № 9

Любая линза имеет...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. один фокус;
- Б. два фокуса;
- В. Три фокуса;
- Г. много фокусов.

ЗАДАНИЕ № 10

Физическая величина, равная обратному фокусу линзы, измеряется...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. 1 дптр;
- Б. 1м;
- В. 1кг;
- Г. 1лмн.

ЗАДАНИЕ № 11

Рассеивающая линза является...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. выпуклой;
- Б. тонкой;
- В. Вогнутой;
- Г. Плоской.

ЗАДАНИЕ № 12

Оптическая сила линзы равна 2дптр. Определить ее фокусное расстояние.

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. 0,5м;
- Б. 0,8м;
- В. 2м;
- Г. 0,4м.

ЗАДАНИЕ № 13

Если предмет находится на расстоянии большем, чем $2F$ от собирающей линзы, то она дает...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. действительное прямое изображение;
- Б. действительное перевернутое изображение;
- В. мнимое прямое изображение;
- Г. мнимое перевернутое изображение.

ЗАДАНИЕ № 14

Фокусное расстояние собирающей линзы равно 25 см. Чему равна оптическая сила линзы?

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- А. 25 дптр;
- Б. 4 дптр;
- В. 0,25 дптр;
- Г. 1 дптр.

Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.4. М.: Астрель. АСТ. 2006-с.76-90.
2. Капуткин Д.Е., Шустиков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ (№805). М.: МИ-СиС. «Учеба». 2007.- 108 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука. 1976. – 272с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа. 1994. – 156с.

Указания по технике безопасности

1. **Внимание!** Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к проведению лабораторной работы не допускаются.

Запрещается:

2. При выполнении работы необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные на рабочем месте студента.
3. Категорически запрещается самостоятельное включение источника питания осветителя.
4. При обнаружении неисправного оборудования немедленно сообщайте об этом лаборанту или преподавателю. На неисправном оборудовании работать запрещается.