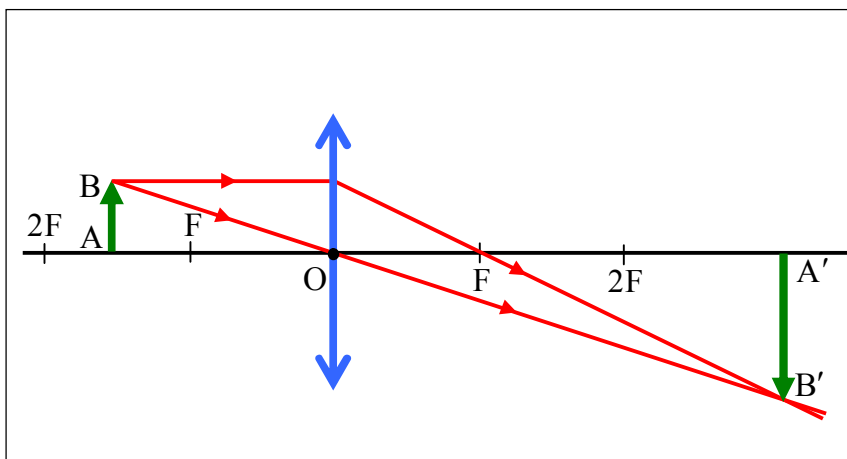


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Киндаев, А. В. Разумов, Т. В. Ляпина

Лабораторный практикум по оптике
Геометрическая оптика

Учебно-методическое пособие



Пенза – 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Киндаев, А. В. Разумов, Т. В. Ляпина

Лабораторный практикум по оптике
Геометрическая оптика

Учебно-методическое пособие

Пенза
Издательство ПГУ
2017

УДК 378.147:53(076.5)
ББК 74.262.23я7

Рецензент:
доктор технических наук, профессор кафедры
«Физика и химия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»
Г.А. Фокин

Киндаев, А. А. **Лабораторный практикум по оптике. Геометрическая оптика** / А. А. Киндаев, А. В. Разумов, Т. В. Ляпина. – Пенза: ПГУ, 2017. – 60 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для бакалавров педагогического образования профилей «Физика. Технология». Пособие содержит элементы теории, описание конкретных лабораторных работ, поэтапные инструкции по их выполнению, контрольные вопросы и задания. Даны разработки лабораторных работ: «Определение фокусного расстояния тонких линз», «Изучение оптических приборов», «Применение законов отражения и преломления света», «Определение показателя преломления рефрактометром», «Моделирование телеобъектива», «Изучение микроскопа».

УДК 378.147:53(076.5)
ББК 74.262.23я7

© Пензенский государственный университет, 2017
© А. А. Киндаев, 2017
© А. В. Разумов, 2017
© Т. В. Ляпина, 2017

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКИХ ЛИНЗ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: экспериментальное определение фокусных расстояний собирающих и рассеивающей линз.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: источник питания; осветитель; линзы собирающие (2 шт.); линза рассеивающая; линейка метровая; экран; сетка миллиметровая (рассматриваемым предметом является щель в форме буквы «Г» на колпачке осветителя).

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА¹

I. Методы определения фокусного расстояния тонких собирающих линз

Способ № 1. По расстояниям от предмета до линзы и от линзы до изображения

Как известно, с помощью тонкой собирающей линзы можно получить действительные либо увеличенное, либо уменьшенное, либо равное по размерам самому предмету изображения.

Если предмет расположен между фокусом и двойным фокусом линзы, то изображение является действительным, перевёрнутым, увеличенным (см. рис. 1.1).

¹ Более подробно теорию тонких линз см. на стр. 85-94 учебно-методического пособия [3].

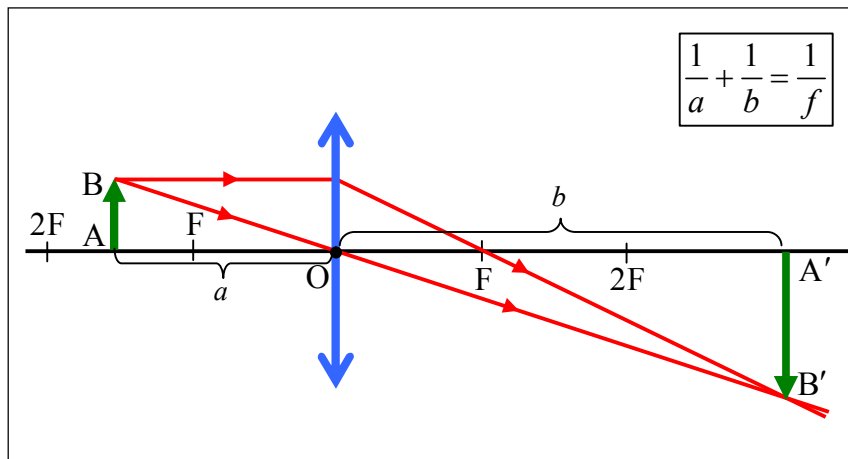


Рис. 1.1. Построение изображения в тонкой собирающей линзе в случае расположения предмета между её фокусом и двойным фокусом (AB – предмет, A'B' – изображение, O – оптический центр линзы, F – фокус, 2F – двойной фокус, a – расстояние от предмета до линзы, b – расстояние от линзы до изображения, f – фокусное расстояние)

Если предмет будет находиться в двойном фокусе, то линза будет формировать изображение, равное по размерам самому предмету и находящееся в двойном фокусе за линзой (см. рис. 1.2).

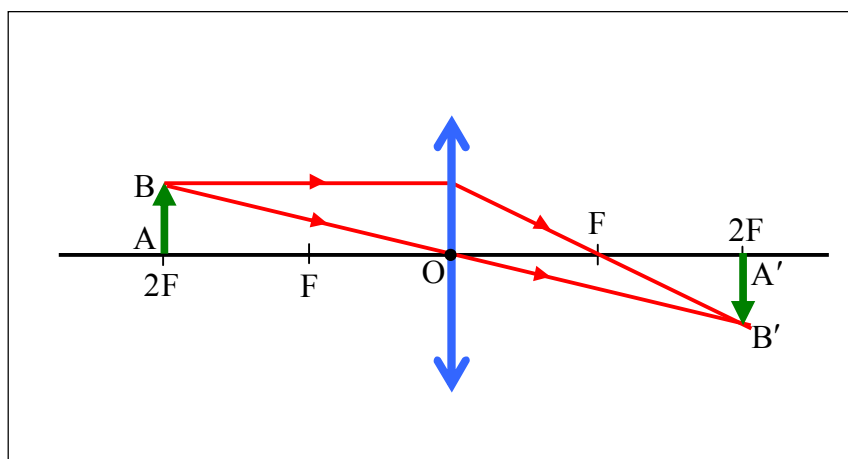


Рис. 1.2. Построение изображения в тонкой собирающей линзе в случае расположения предмета в двойном фокусе

Если предмет расположен за двойным фокусом линзы, то изображение является действительным, перевёрнутым, уменьшенным (см. рис. 1.3).

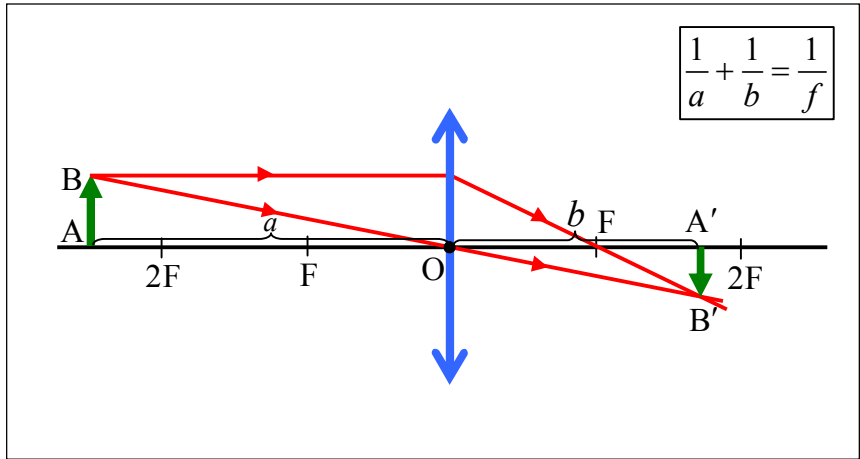


Рис. 1.3. Построение изображения в тонкой собирающей линзе в случае расположения предмета за двойным фокусом

Определяя расстояния от предмета до линзы a и от линзы до изображения b , согласно формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \tag{1.1}$$

можно вычислить фокусное расстояние f :

$$f = \frac{ab}{a+b}. \tag{1.2}$$

Способ № 2. По линейному увеличению линзы

Отношение линейных размеров изображения $h_{из}$ к линейным размерам предмета $h_{пр}$ (см. рис. 1.4) называется линейным увеличением линзы

Г.

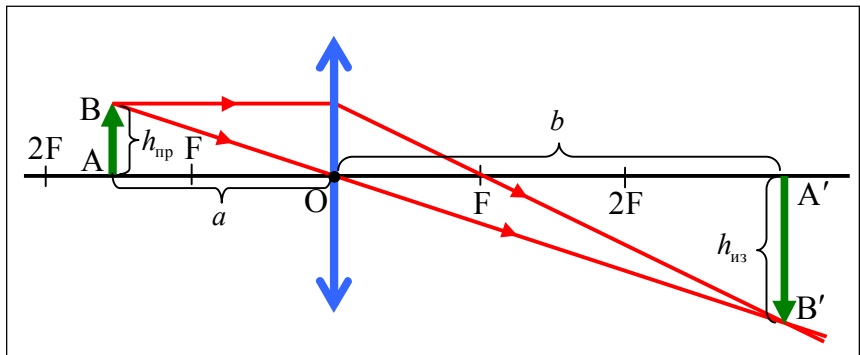


Рис. 1.4. Линейное увеличение линзы

Согласно определению:

$$\Gamma = \frac{h_{\text{из}}}{h_{\text{пр}}}. \quad (1.3)$$

Их геометрических соображений ($\triangle AOB$ подобен $\triangle A'O'B'$ – см. рис. 1.4):

$$\Gamma = \frac{h_{\text{из}}}{h_{\text{пр}}} = \frac{b}{a}. \quad (1.4)$$

На основании формулы (1.2) можно записать:

$$f = \frac{ab}{a+b} = \frac{b}{1 + \frac{b}{a}}. \quad (1.5)$$

Учитывая (1.4), имеем:

$$f = \frac{b}{1 + \frac{h_{\text{из}}}{h_{\text{пр}}}} = \frac{b}{1 + \Gamma}. \quad (1.6)$$

Способ № 3. Способ Бесселя

Если установить экран от предмета на расстоянии S , большем, чем $4f$ (фокусное расстояние f можно оценить, используя один из ранее предложенных способов), то найдутся два таких положения линзы (между предметом и экраном), при которых на экране получатся отчётливые изображения предмета (увеличенное и уменьшенное). Пусть Δx – расстояние между указанными положениями линзы, тогда из свойства сопряжённости положения предмета и изображения следует:

$$a = \frac{S - \Delta x}{2}, \quad (1.7)$$

$$b = \frac{S + \Delta x}{2}, \quad (1.8)$$

$$S = a + b. \quad (1.9)$$

Учитывая формулы (1.2) и (1.7) – (1.9), имеем:

$$f = \frac{(S + \Delta x)(S - \Delta x)}{4S} = \frac{S^2 - (\Delta x)^2}{4S}. \quad (1.10)$$

II. Метод определения фокусного расстояния тонких рассеивающих линз

Независимо от расположения предмета его изображение в рассеивающей линзе является мнимым, прямым, уменьшенным (см. рис. 1.5).

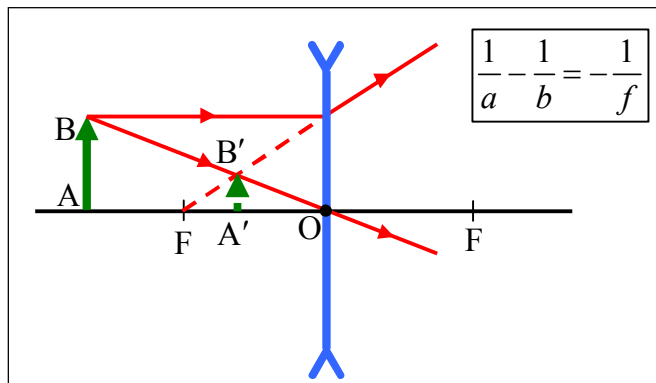


Рис. 1.5. Построение изображения в тонкой рассеивающей линзе

При определении фокусного расстояния рассеивающей линзы можно поступить следующим образом. Сначала изображение предмета АВ получить с помощью только одной собирающей линзы L_1 (см. рис. 1.6). Пусть оно получится на экране в положении \mathcal{E}_1 на расстоянии l_1 от собирающей линзы L_1 .

Если поставить между экраном \mathcal{E}_1 и линзой L_1 рассеивающую линзу L_3 , то изображения на прежнем месте уже не будет. При $f > a$ (f – модуль фокусного расстояния рассеивающей линзы L_3 , a – модуль расстояния от промежуточного изображения $A'B'$ до рассеивающей линзы L_3), конечное изображение $A''B''$ получится на более далёком расстоянии l_2 от собирающей линзы L_1 (на экране в положении \mathcal{E}_2).

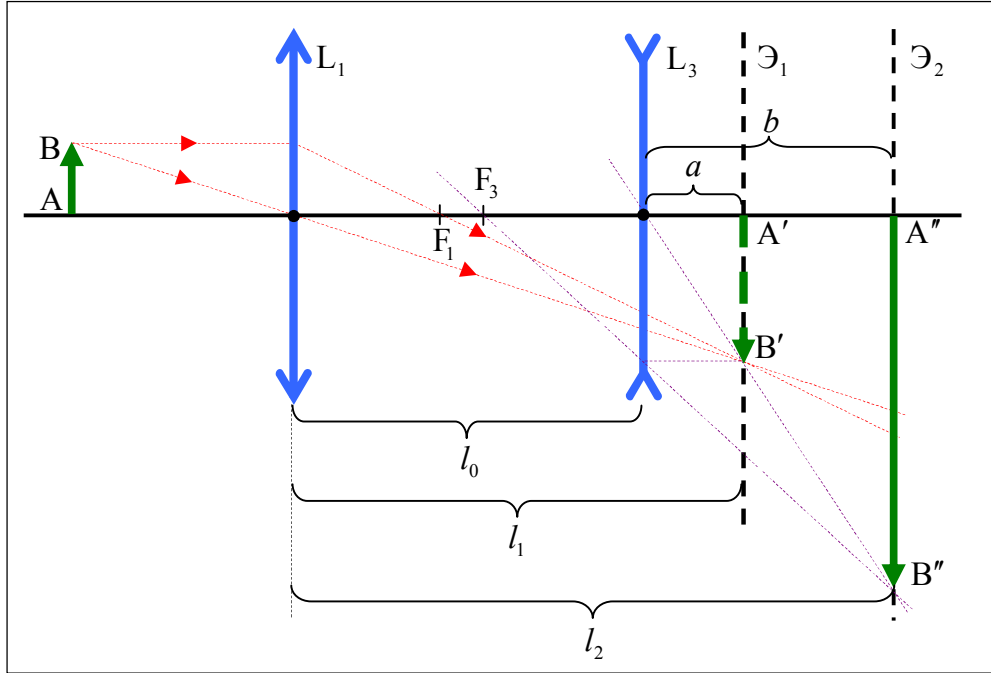


Рис. 1.6. Измерение фокусного расстояния рассеивающей линзы

В данном случае формула для рассеивающей линзы имеет вид:

$$-\frac{1}{f} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad (1.11)$$

где f – модуль фокусного расстояния рассеивающей линзы L_3 , a – модуль расстояния от промежуточного изображения $A'B'$ до рассеивающей линзы L_3 , b – модуль расстояния от рассеивающей линзы L_3 до конечного изображения $A''B''$.

Согласно рис. 1.6

$$a = l_1 - l_0, \quad (1.12)$$

$$b = l_2 - l_0, \quad (1.13)$$

где l_0 – расстояние между собирающей линзой L_1 и рассеивающей линзой L_3 .

Используя формулу (1.11), для модуля фокусного расстояния рассеивающей линзы можно получить:

$$f = \frac{ab}{b - a}. \quad (1.14)$$

Подставляя в (1.14) результаты (1.12) и (1.13) окончательно получим:

$$f = \frac{(l_1 - l_0)(l_2 - l_0)}{l_2 - l_1}. \quad (1.15)$$

ЗАДАНИЕ № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ ДВУХ СОБИРАЮЩИХ ЛИНЗ (№ 1 И № 2) ПЕРВЫМ СПОСОБОМ (ПО РАССТОЯНИЯМ ОТ ПРЕДМЕТА ДО ЛИНЗЫ И ОТ ЛИНЗЫ ДО ИЗОБРАЖЕНИЯ)

1. Подключите осветитель (лампочка на подставке, закрытая колпачком с прорезью в форме буквы «Г») к источнику питания.

2. Расположите осветитель, линзу № 1 и экран вдоль метровой линейки.

3. Включите источник питания, увеличьте напряжение с помощью ручки «Грубо» так, чтобы прорезь была достаточно хорошо освещена.

4. Затемните помещение.

5. Передвигая линзу и экран, получите чёткие изображения светящейся буквы «Г»: уменьшенное, увеличенное, равное по размерам.

6. Во всех трёх случаях измеряйте расстояния от осветителя до линзы a и от линзы до экрана b , результаты измерений и вычислений записывайте в табл. 1.1.

7. Замените линзу № 1 на линзу № 2 и проделайте аналогичные действия, результаты измерений и вычислений записывайте в табл. 1.2.

8. Вычислите фокусные расстояния линз согласно формуле (1.2), а также оптические силы линз ($\Phi = \frac{1}{f}$).

Табл. 1.1. Определение фокусного расстояния собирающей линзы № 1 первым способом

Линза № 1	a , см	b , см	f , см	Δf , см	$\frac{\Delta f}{f}$	Φ , дптр
1				–	–	–
2				–	–	–
3				–	–	–
Среднее значение	–	–				

Табл. 1.2. Определение фокусного расстояния собирающей линзы № 2 первым способом

Линза № 2	a , см	b , см	f , см	Δf , см	$\frac{\Delta f}{f}$	Φ , дптр
1				–	–	–
2				–	–	–
3				–	–	–
Среднее значение	–	–				

ЗАДАНИЕ № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ ДВУХ СОБИРАЮЩИХ ЛИНЗ (№ 1 И № 2) ВТОРЫМ СПОСОБОМ (ПО ЛИНЕЙНОМУ УВЕЛИЧЕНИЮ ЛИНЗЫ)

Возможно два варианта выполнения данного задания.

Вариант I

1. Для контроля результатов получите чёткие изображения светящейся буквы «Г» (уменьшенное, увеличенное, равное по размерам) при тех же расстояниях от осветителя до линз, что и в первом задании.

2. Кроме расстояния от линз до экрана b , измерьте высоту светящейся буквы «Г» $h_{\text{пр}}$ и высоты полученных изображений $h_{\text{из}}$ во всех трёх случаях.

3. Результаты измерений и вычислений для линзы № 1 записывайте в табл. 1.3, для линзы № 2 – в табл. 1.4.

4. Вычислите линейные увеличения линз согласно формуле (1.3), фокусные расстояния линз согласно формуле (1.6), а также оптические силы линз ($\Phi = \frac{1}{f}$).

Табл. 1.3. Определение фокусного расстояния собирающей линзы № 1 вторым способом

Линза № 1	b , см	$h_{\text{пр}}$, см	$h_{\text{из}}$, см	Γ	f , см	Δf , см	$\frac{\Delta f}{f}$	Φ , дптр
1						–	–	–
2						–	–	–
3						–	–	–
Среднее значение	–	–	–	–				

Табл. 1.4. Определение фокусного расстояния собирающей линзы № 2 вторым способом

Линза № 2	b , см	$h_{\text{пр}}$, см	$h_{\text{из}}$, см	Γ	f , см	Δf , см	$\frac{\Delta f}{f}$	Φ , дптр
1						–	–	–
2						–	–	–
3						–	–	–
Среднее значение	–	–	–	–				

Вариант II

Для рационального использования времени при выполнении задания № 1 измеряйте не только расстояния a и b , но и высоты $h_{\text{пр}}$ и $h_{\text{из}}$.

ЗАДАНИЕ № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЙ ДВУХ СОБИРАЮЩИХ ЛИНЗ (№ 1 И № 2) ТРЕТЬИМ СПОСОБОМ (СПОСОБОМ БЕССЕЛЯ)

1. Установите экран от осветителя на расстоянии S , большем, чем $4f$.
2. Передвигая линзу № 1 между осветителем и экраном, получите отчётливое увеличенное изображение светящейся буквы «Г», запомните положение линзы (положение I).
3. Получите отчётливое уменьшенное изображение светящейся буквы «Г», запомните положение линзы (положение II).

4. Определите расстояние Δx между положениями I и II линзы.
5. Проведите опыт для трёх различных расстояний S для линзы № 1, а затем аналогично для линзы № 2.
6. Результаты измерений и вычислений для линзы № 1 записывайте в табл. 1.5, для линзы № 2 – в табл. 1.6.
7. Вычислите фокусные расстояния линз согласно формуле (1.10), а также оптические силы линз ($\Phi = \frac{1}{f}$).

Табл. 1.5. Определение фокусного расстояния собирающей линзы № 1 третьим способом

Линза № 1	S , см	Δx , см	f , см	Δf , см	$\frac{\Delta f}{f}$	Φ , дптр
1				–	–	–
2				–	–	–
3				–	–	–
Среднее значение	–	–				

Табл. 1.6. Определение фокусного расстояния собирающей линзы № 2 третьим способом

Линза № 2	S , см	Δx , см	f , см	Δf , см	$\frac{\Delta f}{f}$	Φ , дптр
1				–	–	–
2				–	–	–
3				–	–	–
Среднее значение	–	–				

ЗАДАНИЕ № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ РАССЕЙВАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ (№ 3)

1. Получите отчётливое изображение светящейся буквы «Г» с помощью собирающей линзы № 1, измерьте расстояние от собирающей линзы до изображения (экрана в положении \mathcal{E}_1 – см. рис. 1.6) l_1 . Результаты измерений и вычислений записывайте в табл. 1.7.

2. Поместите рассеивающую линзу № 3 между экраном и собирающей линзой; перемещая рассеивающую линзу, получите отчётливое изображе-

ние на более далёком расстоянии от собирающей линзы l_2 (положение экрана \mathcal{E}_2).

3. Измерьте расстояние между линзами l_0 .

4. Опыт проделайте не менее трёх раз.

5. Вычислите модуль фокусного расстояния рассеивающей линзы согласно формуле (1.15), а также оптическую силу рассеивающей линзы

($\Phi = -\frac{1}{f}$, под f подразумевается модуль фокусного расстояния).

Табл. 1.7. Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы № 3

Линза № 3	l_0 , см	l_1 , см	l_2 , см	f , см	Δf , см	$\frac{\Delta f}{f}$	Φ , дптр
1					–	–	–
2					–	–	–
3					–	–	–
Среднее значение	–	–	–				

ЗАДАНИЕ 5. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Используя известные вам методы оценки результатов измерений, найдите абсолютные и относительные погрешности проведённых измерений.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

1. Сформулируйте определения понятий: линза, тонкая линза, главная оптическая ось линзы, оптический центр линзы, главный фокус линзы, фокальная плоскость, побочная оптическая ось линзы (сделайте соответствующий поясняющий рисунок).

2. Приведите различные классификации линз.

3. Поясните свойства трёх замечательных лучей для собирающей линзы и для рассеивающей линзы.

4. Постройте изображение предмета в собирающей линзе (рассмотрите три случая: предмет расположен между линзой и её фокусом, предмет

расположен между фокусом и двойным фокусом линзы, предмет расположен за двойным фокусом линзы).

5. Постройте изображение предмета в рассеивающей линзе.
6. Приведите примеры практического применения линз.
7. Запишите и поясните формулу тонкой линзы.
8. Всегда ли двояковыпуклая линза является собирающей? Ответ поясните.
9. Всегда ли двояковогнутая линза является рассеивающей? Ответ поясните.
10. Чему равно фокусное расстояние двух сложенных вплотную тонких линз, имеющих фокусные расстояния f_1 и f_2 ?
11. Решите одну из задач (см. задачи для самостоятельного решения) по выбору преподавателя.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Радиусы кривизны поверхностей двояковыпуклой линзы $R_1 = R_2 = 50$ см. Показатель преломления материала $n = 1,5$. Найдите оптическую силу Φ линзы.
2. Линза с фокусным расстоянием $f = 16$ см даёт резкое изображение предмета при двух положениях, расстояние между которыми $d = 60$ см. Найдите расстояние S от предмета до экрана.
3. Определите наименьшее расстояние S_{\min} между предметом и изображением для линзы с фокусным расстоянием f .
4. Найдите фокусное расстояние f_2 линзы, погружённой в воду, если её фокусное расстояние в воздухе $f_1 = 20$ см. Показатель преломления материала линзы $n = 1,6$.
5. Человек с нормальным зрением пользуется лупой с фокусным расстоянием $f = 8$ см. Найдите максимальное увеличение Γ лупы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: сборка моделей оптических приборов: лупы, микроскопа, зрительной трубы Кеплера (телескопа), зрительной трубы Галилея; экспериментальное определение их видимого увеличения и сравнение его с расчётным.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: блок питания; осветитель; набор линз (№ 1, № 2, № 3); миллиметровые сетки; метровая линейка.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА

В широком смысле к оптическим приборам можно отнести все приборы, преобразующие световые пучки, начиная с простых линз и заканчивая сложнейшими оптическими устройствами. В более узком смысле (например, в данной работе) к ним будем относить приборы, вооружающие глаз (лупа, микроскоп, зрительные трубы Кеплера и Галилея).

Важнейшей характеристикой оптических приборов, которые предназначены для визуального наблюдения предметов, является видимое увеличение. Видимое увеличение определяется через углы зрения. Углом зрения называется угол, под которым виден предмет (или его изображение), расположенный перпендикулярно к оптической оси. Видимым увеличением оптического прибора Γ^* называется отношение тангенса угла зрения φ_1 при наблюдении предмета через прибор к тангенсу угла зрения φ_2 при наблюдении невооруженным глазом этого предмета, расположенного на расстоянии наилучшего зрения $D_0 = 25$ см от глаза (для лупы или микроскопа) или на том же самом расстоянии, что и при наблюдении через прибор (для зрительных труб):

$$\Gamma^* = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi_2}. \quad (2.1)$$

В первом приближении объективы и окуляры оптических приборов будем рассматривать как тонкие линзы.

Лупа – самый простейший оптический прибор, предназначенный для рассматривания близкорасположенных небольших (доли и единицы миллиметров) предметов. Для этого предмет помещают между линзой (лупой) и её фокусом (см. рис. 2.1) близко к фокусу.

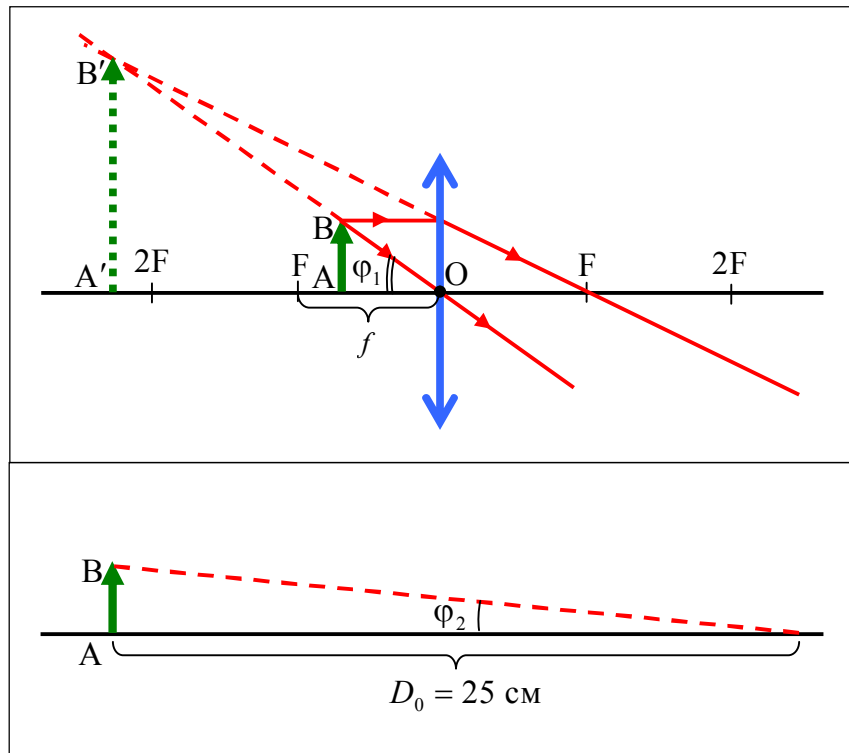


Рис. 2.1. Видимое увеличение лупы

Из рис. 2.1 с учётом того, что $AO \approx f$ (при рассмотрении предмета через лупу он должен находиться вблизи её фокуса; на рис. 2.1 из соображений удобства это не совсем соблюдается), имеем:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 \approx \frac{AB}{f}. \quad (2.2)$$

Для угла φ_2 согласно определению справедливо:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{AB}{D_0}. \quad (2.3)$$

Подставляя (2.2) и (2.3) в (2.1), получим:

$$\Gamma^* \approx \frac{D_0}{f}, \quad (2.4)$$

т. е. увеличение лупы равно отношению расстояния наилучшего зрения к фокусному расстоянию лупы.

Микроскоп – более сложный оптический прибор, с помощью которого можно рассматривать близкорасположенные предметы (или отдельные их части) с большим увеличением (до 1200 раз). Схема микроскопа и ход лучей в нём представлены на рис. 2.2. Микроскоп состоит из окуляра (ОК) и объектива (ОБ), расположенных на расстоянии L , Δ – длина тубуса:

$$\Delta = L - f_{об} - f_{ок}. \quad (2.5)$$

Должно выполняться требование:

$$\Delta \gg f_{ок} > f_{об}. \quad (2.6)$$

Предмет АВ размещается вблизи фокальной плоскости объектива (см. рис. 2.2) на расстоянии большем $f_{об}$.

Увеличенное объективом действительное изображение $A'B'$ получается между фокусом окуляра и самим окуляром (близко к фокусу окуляра; из соображений удобства на рис. 2.2 это не совсем соблюдается). Изображение $A'B'$ рассматривается глазом через окуляр как в лупу.

Из рис. 2.2 следует, что

$$\operatorname{tg} \varphi_1 \approx \frac{A'B'}{f_{ок}}. \quad (2.7)$$

Из подобия заштрихованных на рис. 2.2 треугольников имеем:

$$\frac{A'B'}{AB} \approx \frac{\Delta}{f_{об}}. \quad (2.8)$$

Для угла φ_2 согласно определению справедливо такое же соотношение (2.3), как и в случае лупы.

Из (2.1), (2.3), (2.7) и (2.8):

$$\Gamma^* \approx \frac{D_0 \Delta}{f_{об} f_{ок}} \quad (2.9)$$

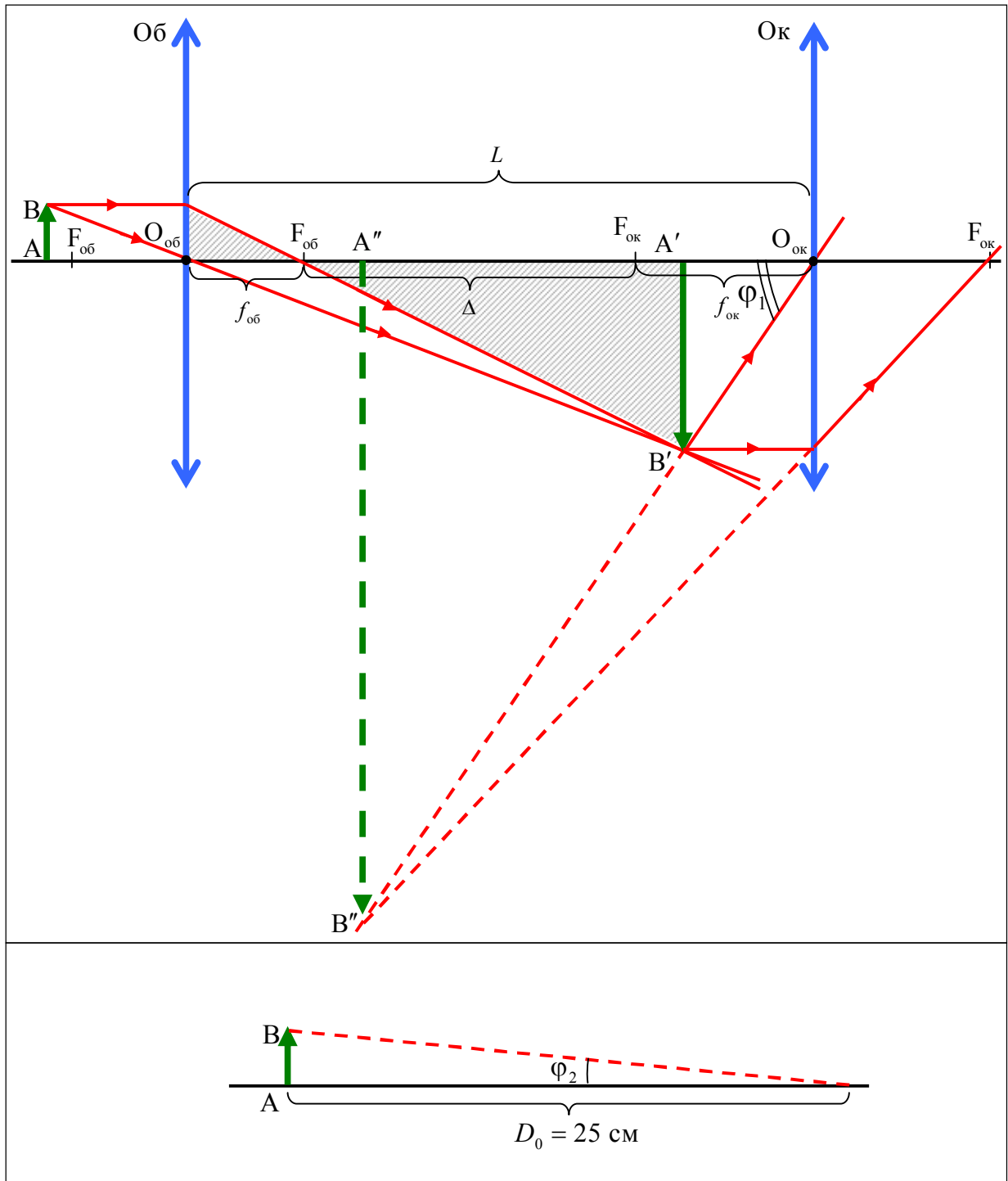


Рис. 2.2. Видимое увеличение микроскопа

² Для того чтобы подчеркнуть, что конечное изображение перевёрнуто по отношению к рассматриваемому объекту, формулу (2.9) дополняют знаком минус «-», т. е.

$$\Gamma^* \approx -\frac{D_0 \Delta}{f_{об} f_{ок}}.$$

Разрешаемое расстояние d_{\min} (т. е. минимальные размеры элементов объекта, которые ещё доступны наблюдению) зависит от объектива и определяется условием:

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2n \sin \theta}. \quad (2.10)$$

где λ – длина волны света, освещающего рассматриваемый объект, n – показатель преломления среды, в которой расположен предмет, θ – апертурный угол (половина угла между крайними лучами, падающими от предмета на объектив и достигающими глаза наблюдателя). Величина $n \sin \theta$ называется числовой апертурой, она указывается на объективе микроскопа. Там же указывается увеличение объектива.

Зрительные трубы предназначаются для наблюдения удалённых предметов (астрономические зрительные трубы, телескопы, бинокли). Наибольшее распространение получили зрительные трубы по схеме Кеплера.

Труба Кеплера (см. рис. 2.3) состоит из длиннофокусного объектива и короткофокусного окуляра, причём расстояние между объективом и окуляром равно сумме фокусных расстояний этих линз.

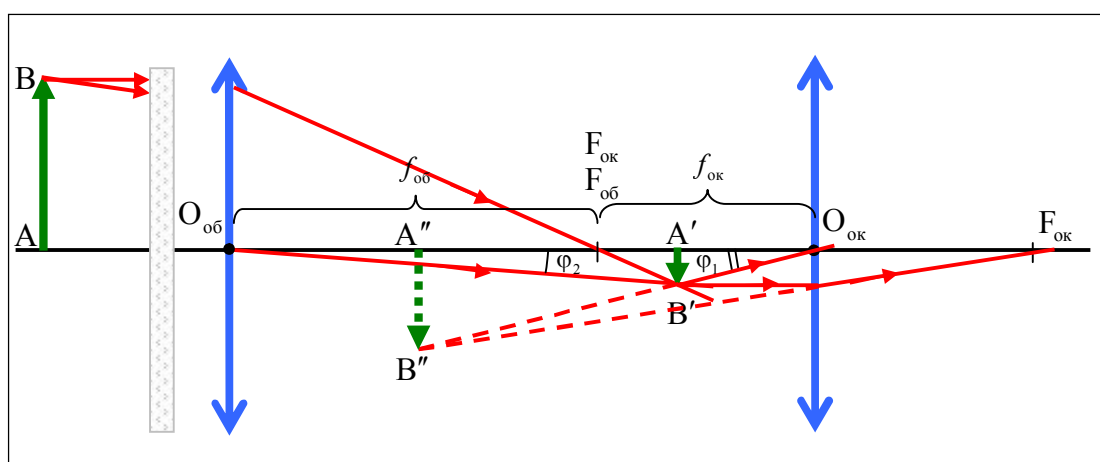


Рис. 2.3. Видимое увеличение трубы Кеплера

Т. к. наблюдаемый предмет АВ находится на очень большом расстоянии, то изображение А'В', даваемое объективом, находится вблизи фокуса объектива на расстоянии, немного большем, чем $f_{об}$ (из соображений удобства на рис. 2.3 это не совсем соблюдается). Из геометрических построений (см. рис. 2.3) следует, что

$$\operatorname{tg} \varphi_1 \approx \frac{A'B'}{f_{ок}}. \quad (2.11)$$

Изображение А'В' рассматривается глазом через окуляр как через лупу.

$$\operatorname{tg} \varphi_2 \approx \frac{A'B'}{f_{об}}. \quad (2.12)$$

Согласно определению увеличение трубы Кеплера (см. (2.1)):

$$\Gamma^* \approx \frac{f_{об}^3}{f_{ок}}. \quad (2.13)$$

Менее распространены зрительные трубы по схеме Галилея. По такой схеме исполнены, например, театральные бинокли.

Труба Галилея (см. рис. 2.4) состоит из длиннофокусного (10 – 40 см) объектива (собирающая линза) и короткофокусного окуляра (рассеивающая линза), расстояние между которыми равно разности фокусного расстояния объектива и модуля фокусного расстояния окуляра.

Т. к. наблюдаемый предмет АВ находится на очень большом расстоянии, то изображение А'В', даваемое объективом, находится вблизи фокуса объектива на расстоянии, немного большем, чем $f_{об}$ (из соображений удобства на рис. 2.4 это не совсем соблюдается). Вследствие того что фокус окуляра совмещён с фокусом объектива:

³ Для того чтобы подчеркнуть, что конечное изображение перевернуто по отношению к рассматриваемому объекту, формулу (2.13) дополняют знаком минус «-», т. е.

$$\Gamma^* \approx -\frac{f_{об}}{f_{ок}}.$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 \approx \frac{A'B'}{f_{\text{ок}}}. \quad (2.14)$$

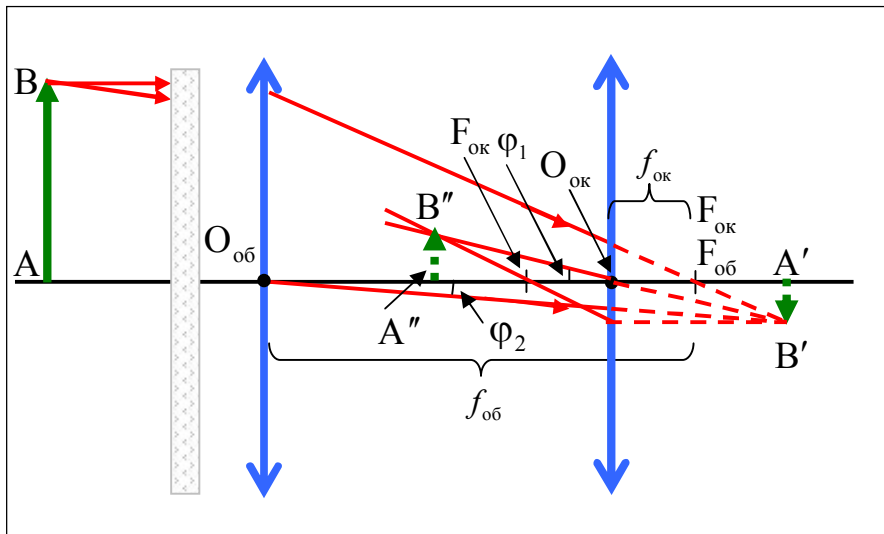


Рис. 2.4. Видимое увеличение трубы Галилея

Также как и для трубы Кеплера:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 \approx \frac{A'B'}{f_{\text{об}}}. \quad (2.15)$$

Согласно определению увеличение трубы Галилея (см. (2.1)):

$$\Gamma^* \approx \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}}. \quad (2.16)$$

Отметим, что изображение, даваемое трубой Галилея, является мнимым и прямым.

ЗАДАНИЕ № 1. СБОРКА МОДЕЛИ ЛУПЫ

1. На оптической скамье установите линзу № 1 и вертикально расположенную миллиметровую сетку на таком расстоянии, чтобы, приблизив, насколько возможно, глаз к лупе, увидеть отчётливое изображение сетки.

2. Поставьте сбоку на расстоянии наилучшего зрения дополнительную сетку, аналогичную объекту. Одним глазом, приложенным вплотную к лупе, рассматривайте изображение первой сетки, а другим глазом одновременно мимо лупы рассматривайте дополнительную сетку. Расстояния ме-

жду делениями в изображении первой сетки будут казаться значительно большими по сравнению с расстояниями между делениями второй сетки, видимой невооруженным глазом. Определите скольким делениям дополнительной шкалы n_2 соответствует участок в n_1 делений изображения (обычно $n_1 = 2 - 4$). Видимое увеличение лупы, определите по формуле:

$$\Gamma_{\text{эксп}}^* = \frac{n_2}{n_1}. \quad (2.17)$$

3. Измерив расстояние от лупы до изображения (до дополнительной сетки), т. е. найдя расстояние наилучшего зрения вашего глаза, и зная фокусное расстояние линзы (лупы) – см. результаты лабораторной работы № 1, вычислите $\Gamma_{\text{теор}}^*$ по формуле (2.4).

4. Опыт повторите не менее 3-х раз, каждый раз устанавливая заново дополнительную сетку и выбирая для расчёта другие значения.

5. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.1.

Табл. 2.1. Видимое увеличение лупы

№ опыта	n_1	n_2	f , см	D_0 , см	$\Gamma_{\text{теор}}^*$	$\Gamma_{\text{эксп}}^*$
1			–	–	–	
2			–	–	–	
3			–	–	–	
Среднее значение	–	–				

ЗАДАНИЕ № 2. СБОРКА МОДЕЛИ МИКРОСКОПА

1. Используя в качестве окуляра линзу № 2, а в качестве объектива – линзу № 1, соберите модель микроскопа, установив линзы на оптической скамье так, чтобы расстояние между ними удовлетворяло условию (2.6) (не менее 50 см). За объективом на расстоянии, немного превышающем $f_{\text{об}}$, поставьте объект (сетку). Подсветите её осветителем. Передвигая объект вдоль оптической скамьи, добейтесь наиболее отчётливого изображения.

2. Найдите $\Gamma_{\text{эксп}}^*$ для микроскопа способом, аналогичным п. 2 задания № 1: наблюдая объект одновременно двумя глазами – через прибор одним

глазом и без прибора другим ($\Gamma_{\text{эксп}}^* = \frac{n_2}{n_1}$).

3. Зная $f_{\text{об}}$, $f_{\text{ок}}$ и определив Δ , D_0 , рассчитайте $\Gamma_{\text{теор}}^*$ по формуле (2.9).

4. Опыт выполните не менее 3-х раз.

5. Зарисуйте схему расположения линз.

6. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.2.

Табл. 2.2. Видимое увеличение микроскопа

№ опыта	n_1	n_2	$f_{\text{об}}$, см	$f_{\text{ок}}$, см	L , см	Δ , см	D_0 , см	$\Gamma_{\text{теор}}^*$	$\Gamma_{\text{эксп}}^*$
1			–	–	–	–	–	–	
2			–	–	–	–	–	–	
3			–	–	–	–	–	–	
Среднее значение	–	–							

ЗАДАНИЕ № 3. СБОРКА МОДЕЛИ ТРУБЫ КЕПЛЕРА

1. Используя в качестве окуляра линзу № 1, а в качестве объектива – линзу № 2, соберите модель трубы Кеплера, установив линзы на оптической скамье так, чтобы расстояние между ними равнялось сумме фокусных расстояний объектива и окуляра. За объективом на большом расстоянии поставьте объект (лучше использовать метровую линейку, расположенную у противоположной стены лаборатории).

2. Найдите $\Gamma_{\text{эксп}}^*$ способом, аналогичным п. 2 двух предыдущих заданий: наблюдая объект одновременно двумя глазами – через прибор одним глазом и другим без прибора ($\Gamma_{\text{эксп}}^* = \frac{n_2}{n_1}$, где n_2 – число делений объекта, видимого невооруженным глазом, n_1 – число делений объекта, видимого под тем же углом через прибор).

3. Зная $f_{\text{об}}$, $f_{\text{ок}}$, рассчитайте $\Gamma_{\text{теор}}^*$ по формуле (2.13).

4. Опыт выполните не менее 3-х раз.
5. Зарисуйте схему расположения линз.
6. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.3.

Табл. 2.3. Видимое увеличение трубы Кеплера

№ опыта	n_1	n_2	$f_{об}$, см	$f_{ок}$, см	$\Gamma_{теор}^*$	$\Gamma_{эксп}^*$
1			—	—	—	
2			—	—	—	
3			—	—	—	
Среднее значение	—	—				

ЗАДАНИЕ № 4. СБОРКА МОДЕЛИ ТРУБЫ ГАЛИЛЕЯ

Данное задание разработайте и выполните самостоятельно, опираясь на умения и навыки, сформированные при выполнении первых трёх заданий.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

1. Начертите и поясните оптическую схему лупы.
2. Начертите и поясните оптическую схему микроскопа.
3. Начертите и поясните оптическую схему трубы Кеплера.
4. Начертите и поясните оптическую схему трубы Галилея.
5. Почему у разных людей получаются разные результаты при экспериментальном (субъективном) определении увеличения оптических приборов?
6. Чем вы объясните несовпадение значений $\Gamma_{теор}^*$ и $\Gamma_{эксп}^*$?
7. Чем вы объясните дефекты видимого изображения в собранных вами моделях оптических приборов?
8. Что такое разрешающая способность микроскопа? Других оптических приборов?
9. Решите одну из задач (см. задачи для самостоятельного решения) по выбору преподавателя.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Человек без очков читает книгу, располагая её перед собой на расстоянии $a = 12,5$ см. Какой оптической силы Φ очки следует ему носить?
2. Лупа даёт увеличение $\Gamma_1^* = 2$. Вплотную к ней приложили собирающую линзу с оптической силой $\Phi_1 = 20$ дптр. Какое увеличение Γ_2^* будет давать такая составная лупа?
3. Оптическая сила Φ объектива телескопа равна 0,5 дптр. Окуляр действует как лупа, дающая увеличение $\Gamma_1^* = 10$. Какое увеличение Γ_2^* даёт телескоп?
4. Фокусное расстояние f_1 объектива микроскопа равно 8 мм, окуляра $f_2 = 4$ см. Предмет находится на $\Delta a = 0,5$ мм дальше от объектива, чем главный фокус. Определите увеличение Γ^* микроскопа.
5. Расстояние Δ между фокусами объектива и окуляра внутри микроскопа равно 16 см. Фокусное расстояние f_1 объектива равно 1 мм. С каким фокусным расстоянием f_2 следует взять окуляр, чтобы получить увеличение $\Gamma^* = 500$?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: экспериментальное определение абсолютного показателя преломления стекла для белого и монохроматического света; экспериментальное определение увеличения микроскопа.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: стеклянная пластинка с двумя взаимно перпендикулярными штрихами, один из которых нанесён на нижней, а второй на верхней поверхности пластинки; микроскоп; микрометр; набор стеклянных светофильтров; тонкая проволока; рисовальный аппарат.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА

Определение показателя преломления стеклянной пластинки с помощью микроскопа.

Известно, что значение показателя преломления обусловлено не только свойствами вещества (например, сортом оптического стекла), но для данного вещества ещё и частотой ν или длиной волны света λ , т. е. $n = f(\lambda)$ или $n = f(\nu)$.

Так как скорость света в воздухе очень близка к скорости света в вакууме, то показатель преломления, измеренный относительно воздуха, практически равен абсолютному показателю преломления. В данной работе абсолютный показатель преломления измеряется для белого и монохроматического света с помощью плоскопараллельной пластинки и микроскопа.

Предмет, рассматриваемый через плоскопараллельный слой прозрачного вещества, имеющего большую оптическую плотность по сравнению с воздухом, кажется нам расположенным ближе. Представим себе, что мы рассматриваем точку O через плоскопараллельную стеклянную пластинку (см. рис. 3.1). Проведём из точки O два луча OA и OA_1 . Наблюдая сверху, мы увидим точку O на пересечении продолжения лучей AB и A_1B_1 , т. е. в точке O_1 .

Таким образом, точка O покажется нам расположенной ближе на величину $a = OO_1$. Найдём связь между показателем преломления стекла n , толщиной пластинки d и величиной кажущейся толщины пластинки c . Из рис. 3.1 следует, что

$$b = d \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.1)$$

$$b = c \operatorname{tg} \beta. \quad (3.2)$$

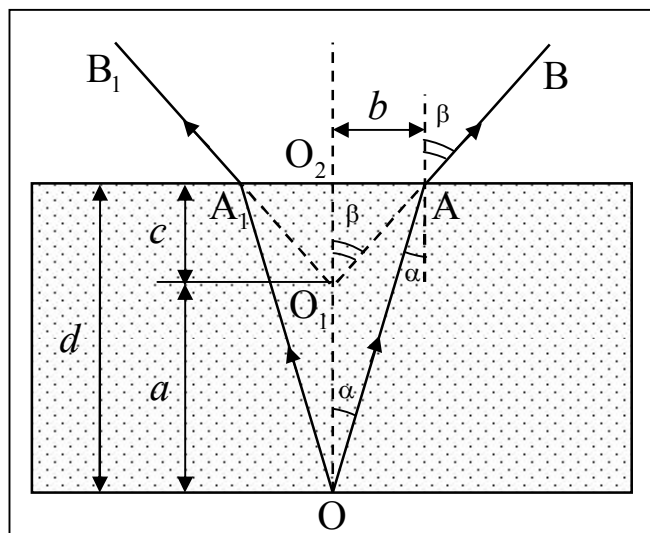


Рис. 3.1. Наблюдение объекта через плоско-параллельную пластинку

Из (3.1) и (3.2) имеем:

$$\frac{c}{d} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (3.3)$$

В приближении малых углов:

$$\frac{c}{d} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \approx \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}. \quad (3.4)$$

Учитывая закон преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n}. \quad (3.5)$$

Таким образом, при наблюдении сверху:

$$n = \frac{d}{c}. \quad (3.6)$$

Описанным выше явлением кажущегося поднятия предмета, пользуются при определении показателя преломления стеклянной пластинки с помощью микроскопа.

Определение увеличения микроскопа с помощью рисовального аппарата

Рисовальный аппарат служит для определения увеличения микроскопа. Известно, что увеличение микроскопа можно определить, если знать линейные размеры предмета и изображения.

Линейные размеры предмета определяют микрометром, а размеры изображения даёт возможность определить рисовальный аппарат.

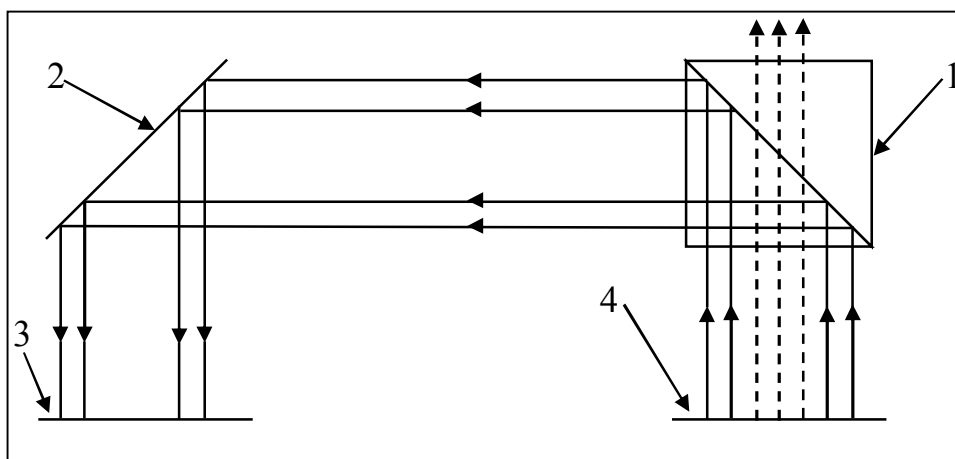


Рис. 3.2 Принцип работы рисовального аппарата
1 – кубик из стекла, составленный из 2-х прямоугольных призм; 2 – плоское зеркало; 3 – лист бумаги; 4 – увеличенное изображение предмета в микроскопе.

ЗАДАНИЕ № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛЯННОЙ ПЛАСТИНКИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПА

1. Положите стеклянную пластинку на предметный столик микроскопа так, чтобы точка пересечения штрихов находилась в центре поля зрения.

2. Вращая рукоятку грубой фокусировки против часовой стрелки и осторожно вращая рукоятку механизма микрометрической фокусировки в том же направлении до отказа, поднимите тубус микроскопа в крайнее верхнее положение. На отсчётном барабане механизма микрометрической фокусировки отсчитайте деления, совпадающие с отсчётной чёрточкой, и запишите их, приняв за нулевой отсчёт. После этого медленным вращени-

ем по часовой стрелке рукоятки грубой фокусировки опустите тубус микроскопа до тех пор, пока в поле зрения окуляра не получится наиболее отчётливое изображение штриха O_2 (см. рис. 3.1), нанесённого на верхней поверхности пластинки.

3. Вращая рукоятку механизма микрометрической фокусировки до тех пор, пока не получится наиболее отчётливое изображение штриха O_1 , нанесённого на нижней поверхности, отсчитайте деление на барабане и запишите новый отсчёт, при этом считайте число полных оборотов барабана (1 оборот барабана соответствует перемещению тубуса на 0,1 мм). По этим данным найдите значение s .

4. Указанные измерения проделайте не менее пяти раз в белом свете.

5. Микрометром измерьте толщину пластинки d в месте пересечения штрихов не менее пяти раз.

6. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.1.

Табл. 3.1. Определение абсолютного показателя преломления стекла для белого света

№ опыта	s , мм	d , мм	n	Δn	$\frac{\Delta n}{n}$
1			—	—	—
2			—	—	—
3			—	—	—
4			—	—	—
5			—	—	—
Среднее значение					

7. Повторите аналогичные измерения кажущейся толщины пластинки с помощью микроскопа для красного, зелёного и фиолетового цветов, поместив соответствующие светофильтры под предметный столик (проделайте измерения не менее трёх раз для каждого цвета).

8. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.2.

9. Постройте график зависимости n от λ .

Табл. 3.2. Определение абсолютного показателя преломления стекла для монохроматического света

Цвет	№ опыта	c , мм	d , мм	n	Δn	$\frac{\Delta n}{n}$
Красный	1		–	–	–	–
	2		–	–	–	–
	3		–	–	–	–
	Среднее значение					
Зелёный	1		–	–	–	–
	2		–	–	–	–
	3		–	–	–	–
	Среднее значение					
Фиолетовый	1		–	–	–	–
	2		–	–	–	–
	3		–	–	–	–
	Среднее значение					

ЗАДАНИЕ № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ МИКРОСКОПА С ПОМОЩЬЮ РИСОВАЛЬНОГО АППАРАТА

1. После получения чёткого изображения изучаемого предмета (тонкой проволоки) наденьте на окуляр микроскопа рисовальный аппарат.
2. Рядом с микроскопом на специальный столик положите чистый лист бумаги и хорошо заточенный карандаш.
3. Наклоном плоского зеркала добейтесь того, чтобы через микроскоп увидеть на листе увеличенное изображение объекта.
4. Обведите его карандашом, а затем измерьте его толщину линейкой.
5. Определите увеличение микроскопа Γ , поделив численное значение размера увеличенного изображения объекта $d_{из}$ на численное значение размера изучаемого объекта $d_{об}$ (измеряется микрометром).
6. Измерения повторите не менее 5 раз.
7. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.3.

Табл. 3.3. Определение увеличения микроскопа с помощью рисовального аппарата

№ опыта	$d_{об}$, мм	$d_{из}$, мм	Γ	$\Delta\Gamma$	$\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma}$
1			–	–	–
2			–	–	–
3			–	–	–
4			–	–	–
5			–	–	–
Среднее значение					

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

1. Сформулируйте принцип Ферма.
2. Сформулируйте и поясните основные законы геометрической оптики.
3. Дайте определения абсолютного и относительного показателей преломления, покажите связь между ними.
4. Нарисуйте ход лучей в микроскопе.
5. Чему равно увеличение микроскопа? Определите увеличение микроскопа, пользуясь данными, указанными на объективе и окуляре.
6. Почему при рассмотрении предмета через плоскую стеклянную пластинку он кажется расположенным ближе?
7. Как влияет толщина пластинки на точность определения показателя преломления этим способом?
8. Решите одну из задач (см. задачи для самостоятельного решения) по выбору преподавателя.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Два плоских прямоугольных зеркала образуют двугранный угол $\varphi = 179^\circ$. На расстоянии $l = 10$ см от линии соприкосновения зеркал и на одинаковом расстоянии от каждого зеркала находится точечный источник света. Определите расстояние d между мнимыми изображениями источника в зеркалах.

2. Определите, во сколько раз истинная глубина водоёма больше кажущейся, если смотреть по вертикали вниз.

3. Фокусное расстояние f вогнутого зеркала равно 15 см. Зеркало даёт действительное изображение предмета, уменьшенное в три раза. Определите расстояние a от предмета до зеркала.

4. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом $i = 30^\circ$, даёт на ней светлое пятно. На сколько сместится это пятно, если на бумагу положить плоскопараллельную стеклянную пластину толщиной $d = 5$ см?

5. На стеклянную призму с преломляющим углом $\theta = 60^\circ$ падает луч света. Определите показатель преломления n стекла, если при симметричном ходе луча в призме угол отклонения $\delta = 40^\circ$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ РЕФРАКТОМЕТРОМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение работы рефрактометра; измерение показателя преломления жидкостей рефрактометром; экспериментальное исследование температурной зависимости показателя преломления воды; экспериментальное исследование показателя преломления растворов от концентрации растворённого вещества.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: исследуемые растворы, рефрактометр, электрическая плитка, дистиллированная вода, пипетка.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА

Оптические приборы, предназначенные для измерения показателя преломления, называют рефрактометрами.

Определение показателя преломления можно проводить различными способами: по измерению углов падения и преломления, по измерению угла наименьшего отклонения призмы и её преломляющего угла, интерфе-

ренционными методами (по смещению интерференционных полос), по смещению изображения предмета, рассматриваемого через плоскопараллельную пластинку с помощью микроскопа, иммерсионными методами и методами, основанными на полном отражении.

В работе применяется рефрактометр, в котором используется полное отражение (рефрактометр Аббе). В рефрактометрах этого типа исследуемая среда (обычно жидкость) помещается в зазоре (около 0,1 мм) между гранями двух стеклянных прямоугольных призм (см. рис. 4.1). При измерениях используют два метода: метод скользящего луча и метод полного отражения.

При методе скользящего луча свет направляется через грань АВ призмы P_1 , проходит через матовую поверхность АС и далее через слой жидкости проникает в призму P_2 . Для лучей, которые скользят вдоль грани, можно записать закон преломления в виде:

$$n = n_1 \sin \alpha_0, \quad (4.1)$$

где угол α_0 равен предельному углу для границы «стекло – исследуемое вещество», n – показатель преломления исследуемой среды в зазоре, n_1 – показатель преломления стекла призмы.

Для грани EF закон преломления записывается в виде:

$$n_1 \sin \alpha_1 = \sin \alpha_m. \quad (4.2)$$

Преломляющий угол призмы:

$$\theta = \alpha_0 + \alpha_1. \quad (4.3)$$

Учитывая (4.1) – (4.3), найдём:

$$n = \sin \theta \sqrt{n_1^2 - \sin^2 \alpha_m} - \cos \theta \sin \alpha_m. \quad (4.4)$$

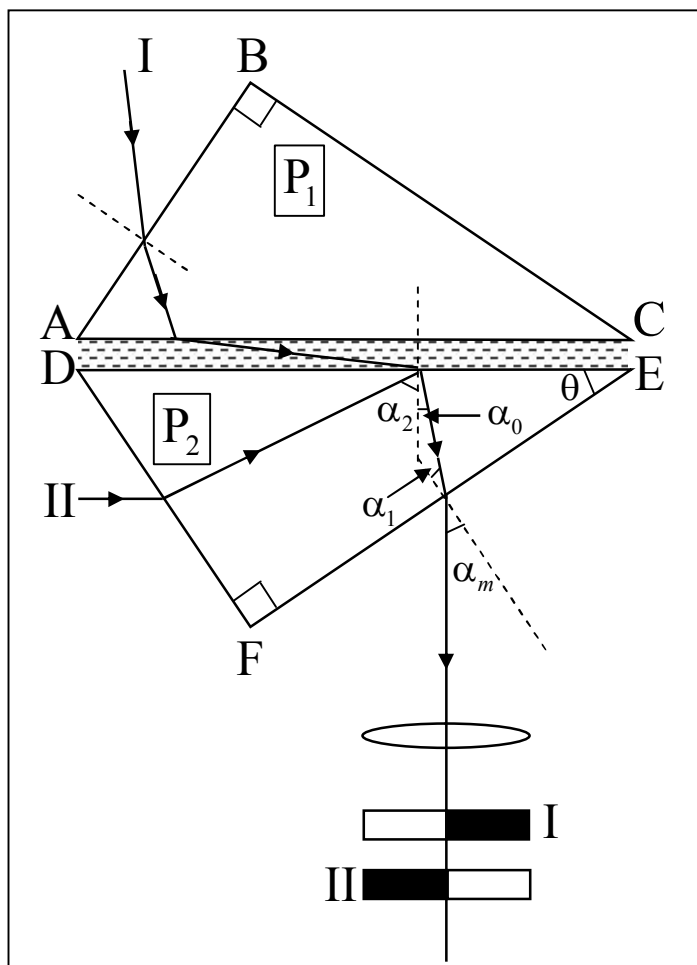


Рис. 4.1 Принцип действия рефрактометра Аббе

Угол выхода лучей α_m будет иметь наименьшее значение для скользких лучей. Лучи, проходящие через грань EF, будут выходить под углами от α_m до 90° , определяемых соотношением (4.4). Если на пути этих лучей поставить собирающую линзу, то в её фокальной плоскости получается изображение, на котором будет видна резкая граница между светом и тенью. Граница раздела соответствует направлению выхода лучей под наименьшим углом (т. е. углом α_m). Положение её будет зависеть от величины показателя преломления среды (при данных призмах).

Граница рассматривается через вторую линзу, которая совместно с первой образует зрительную трубу, установленную на бесконечность. С

помощью такой трубы определяется угол α_m и по известным значениям θ и n_1 рассчитывается показатель преломления среды.

При методе полного отражения свет вводится в рефрактометр через матовую грань DF призмы P_2 . Свет падает на грань DE под всевозможными углами. При углах $\alpha_2 > \alpha_0$ будет наблюдаться полное отражение. Лучи, проходящие через грань EF и имеющие углы выхода больше α_m , будут в фокальной плоскости давать изображение с меньшей освещённостью; лучи с углами выхода меньше α_m (что соответствует условию $\alpha_2 > \alpha_0$) будут давать большую освещённость. В поле зрения трубы в этом случае будет наблюдаться резкая граница раздела между полутенью и светом. Если при использовании первого способа верхняя часть поля зрения будет тёмной, то во втором способе эта часть поля будет иметь большую освещённость. Положение границы раздела в обоих случаях определяется условием (4.4). Вторым способом можно измерять показатель преломления и непрозрачных тел.

При освещении призм белым светом граница раздела будет размыта и окрашена в различные цвета. Чтобы получить резкое изображение, перед объективом зрительной трубы помещаются две призмы прямого зрения (призмы Амичи). Каждая призма состоит из трёх склеенных призм с различными показателями преломления и различной дисперсией (например, крайние призмы изготовлены из кронгласса, средняя – из флинтгласса). Призмы рассчитаны так, чтобы монохроматический луч с длиной волны 5893 \AA не испытывал отклонения. Такое устройство называется компенсатором.

При положении призм компенсатора, указанном на рис. 4.2, их дисперсия будет равна нулю; при повороте одной из призм на 180° дисперсия будет равна удвоенному значению дисперсии одной призмы (при равных дисперсиях призм). В зависимости от взаимной ориентации призм диспер-

сию можно изменять от нуля до максимального значения. Поворотом призм компенсатора с помощью специального устройства добиваются резкого изображения границы, положение которой соответствует значению показателя преломления для жёлтой линии натрия (5893 \AA).

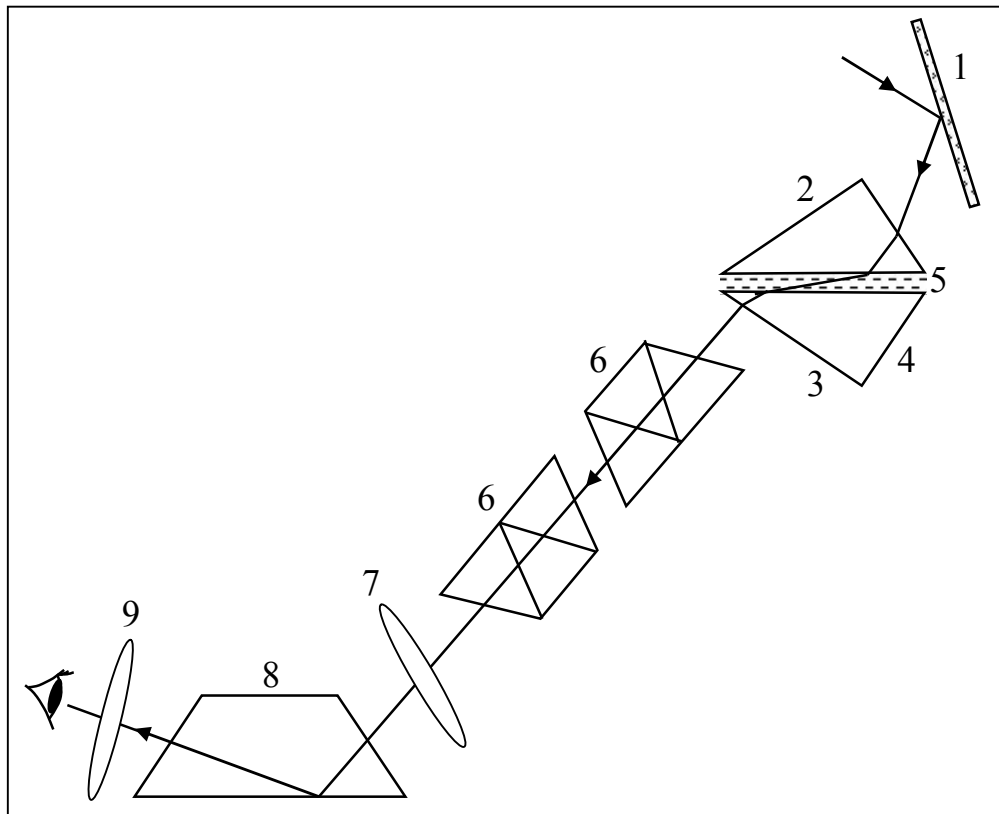


Рис. 4.2 Ход лучей в рефрактометре Аббе:
 1 – осветительное зеркало, 2 – откидная призма, 3 –
 основная призма, 4 – матовая грань, 5 – исследуемое
 вещество, 6 – призмы компенсатора, 7 – объектив тру-
 бы, 8 – обратная призма, 9 – окуляр.

В простых конструкциях рефрактометров в качестве компенсатора используют одну призму прямого зрения.

Общий вид рефрактометра РЛ показан на рис. 4.3.

Для удобства измерений шкала проградуирована непосредственно в значениях показателя преломления.

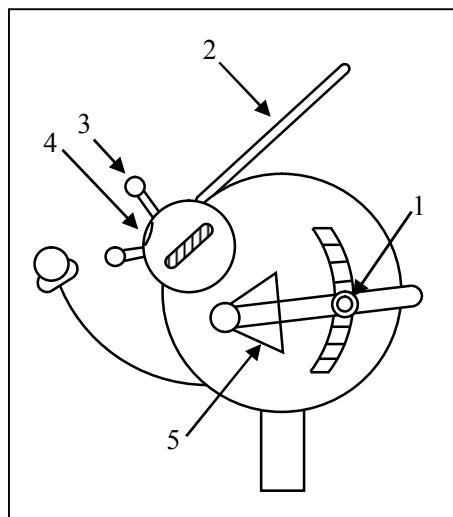


Рис. 4.3 Общий вид рефрактометра РЛ:
 1 – окуляр с отсчётной шкалой, расположенной в фокальной плоскости окуляра, 2 – термометр, 3 – штуцеры, 4 – осветительное окно, 5 – барабан.

В указанной конструкции рефрактометра два окна, что позволяет вести измерения обоими способами. Одно из окон при измерениях закрывается. Для установки компенсатора служит барабан 5. В оправе призм сделана камера, через которую может прокачиваться жидкость для поддержания постоянной температуры. Подача охлаждающей жидкости осуществляется через штуцеры 3. Для измерения зависимости показателя преломления n от температуры t нагретую до $70-100^{\circ}\text{C}$ воду медленно льют через штуцеры 3 и разогревают камеру с исследуемым раствором. Температуру t измеряют термометром 2. Измерения n и t выполняются при остывании камеры.

Перед началом работы необходимо проверить установку прибора. Для этой цели между призмами 2 и 3 (см. рис. 4.2) помещается капля дистиллированной воды. Смещая окуляр в тубусе трубы, добиваются чёткого изображения шкалы и визирной линии. Далее зрительную трубу перемещают до совпадения линии с границей раздела между полутенью и светом. При правильной установке прибора значение показателя преломления воды должно быть равно 1,333 (при 20°C).

**ЗАДАНИЕ № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ РАСТВОРОВ САХАРА ОТ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИИ**

1. Разведите растворы сахара в воде с различными концентрациями.
2. Измерьте показатели преломления раствора сахара в воде для различных концентраций с помощью рефрактометра.
3. Проведите несколько серий измерений (не менее трёх раз для четырёх различных концентраций c).
4. Результаты измерений занесите в табл. 4.1.

Табл. 4.1. Исследование зависимости
показателя преломления растворов
сахара от его концентрации

№ опыта	$c, \%$	n	Δn	$\frac{\Delta n}{n}$
1	–		–	–
2	–		–	–
3	–		–	–
Среднее значение				
1	–		–	–
2	–		–	–
3	–		–	–
Среднее значение				
1	–		–	–
2	–		–	–
3	–		–	–
Среднее значение				
1	–		–	–
2	–		–	–
3	–		–	–
Среднее значение				

5. Постройте график зависимости показателя преломления раствора сахара от концентрации.

ЗАДАНИЕ № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОДЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. Разогрейте исследуемую жидкость, прокачивая горячую воду через штуцеры рефрактометра.
2. При остывании рефрактометра через каждые 5°C измеряйте показатель преломления.
3. Результаты измерений занесите в табл. 4.2.

Табл. 4.2. Исследование зависимости показателя преломления воды от температуры

№ опыта	$t, ^{\circ}\text{C}$	n	Δn	$\frac{\Delta n}{n}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

4. Постройте график зависимости показателя преломления воды от температуры.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

1. Начертите и поясните ход лучей в измерительных призмах при работе методом скользящего луча и методом полного отражения в рефрактометре Аббе.
2. Какими способами проводится измерение показателя преломления жидкости и твёрдых тел?
3. В чём заключается явление полного внутреннего отражения?
4. Объясните образование светотени в рефрактометре.
5. Что понимают под абсолютным и относительным показателями преломления вещества?

6. Укажите связь между предельным углом полного внутреннего отражения и относительным показателем преломления.

7. Решите одну из задач (см. задачи для самостоятельного решения) по выбору преподавателя.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. На дно сосуда, наполненного водой до высоты $h = 10$ см помещён точечный источник света. На поверхности воды плавает круглая непрозрачная пластинка так, что её центр находится над источником света. Какой наименьший радиус r должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды?

2. Цилиндрический стакан с жидкостью поставлен на монету, рассматриваемую сквозь боковую стенку стакана. Найти наименьшую возможную величину показателя преломления n жидкости, при котором монета не видна.

3. На какой глубине под водой находится водолаз, если он видит отражёнными от поверхности воды те части горизонтального дна, которые расположены от него на расстоянии $s = 15$ м и больше? Рост водолаза $a = 1,5$ м. Показатель преломления воды $n = 1,33$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕОБЪЕКТИВА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: определение оптимальных параметров телеобъектива.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: оптическая скамья, метровая линейка, модель телеобъектива, окулярный микрометр.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА

Любая центрированная оптическая система обладает рядом так называемых кардинальных точек, лежащих на её главной оптической оси. Знание положения и свойств этих точек намного упрощает анализ оптических

систем и позволяет легко находить изображение предмета, совершенно не рассматривая действительного хода лучей внутри самой системы. Рассмотрим положение и свойства этих точек.

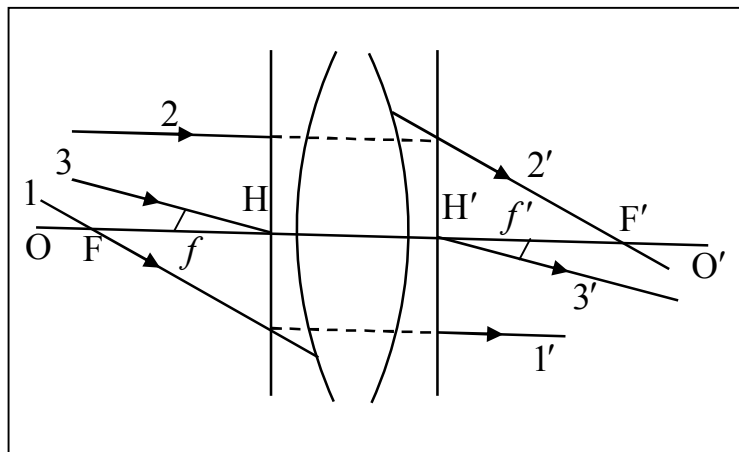


Рис. 5.1 Кардинальные точки

1. Передний и задний главные фокусы F и F' (см. рис. 5.1).

Любой луч, падающий на систему и проходящий через точку F – передний главный фокус – после прохождения системы идёт параллельно главной оптической оси OO' (луч $1-1'$).

Любой луч, падающий на систему параллельно главной оптической оси, после выхода из системы проходит через точку F' – задний главный фокус (луч $2-2'$).

Плоскости, проходящие через точки F и F' перпендикулярно к главной оптической оси, называют соответственно передней и задней фокальными плоскостями.

2. Передняя и задняя главные точки H и H' и соответствующие им главные плоскости (они проходят через точки H и H' перпендикулярно к главной оптической оси).

Главные плоскости изображают друг друга с линейным увеличением $+1$. Это значит, что если поместить отрезок y , например, в переднюю главную плоскость, то его изображение y' окажется в задней плоскости, при-

чём будет прямым и равным по величине отрезку y , т. е. $y' = y$. Иначе говоря, точки, лежащие в главных плоскостях напротив друг друга, являются сопряжёнными. Расстояния FH и $H'F'$ называют соответственно передним и задним фокусными расстояниями f и f' .

3. Передняя и задняя узловые точки K и K' .

Любой луч, проходящий через переднюю узловую точку K , после выхода из системы пересекает главную оптическую ось в точке K' , причём будет идти в направлении, параллельном падающему лучу. Если показатели преломления сред с обеих сторон оптической системы одинаковы, то узловые точки совпадают с главными и фокусные расстояния f и f' одинаковы (этот случай иллюстрирует рис. 5.1, см. ход луча $3-3'$).

Следует иметь в виду, что для различных оптических систем относительное расположение кардинальных точек может сильно различаться. В частности, обе главные плоскости могут быть расположены внутри системы, вне её, по одну сторону от системы и, наконец, в обратном порядке (H' перед H).

Определение положения главных точек

У оптической системы, находящейся в воздухе, главные точки совпадают с узловыми. Поэтому для нахождения главных точек достаточно установить положение узловых точек. Если направить на оптическую систему пучок параллельных лучей, они соберутся в точке, лежащей в задней фокальной плоскости. Из свойства узловых точек следует, что при повороте оптической системы вокруг заданной узловой точки K положение точки-изображения остаётся неизменным в пространстве. Таким образом, задача сводится к нахождению такой точки, поворот системы вокруг которой на небольшие углы не приводит к смещению изображения.

Описание установки

В данной работе исследуемой сложной оптической системой служит модель телеобъектива – комбинации положительной и отрицательной тон-

ких линз (см. рис. 5.2). Главные плоскости телеобъектива вынесены вперёд, благодаря чему эта система является длиннофокусной и вместе с тем достаточно компактной (качества, весьма существенные при создании таких приборов, как бинокль, фотоаппарат и др.).

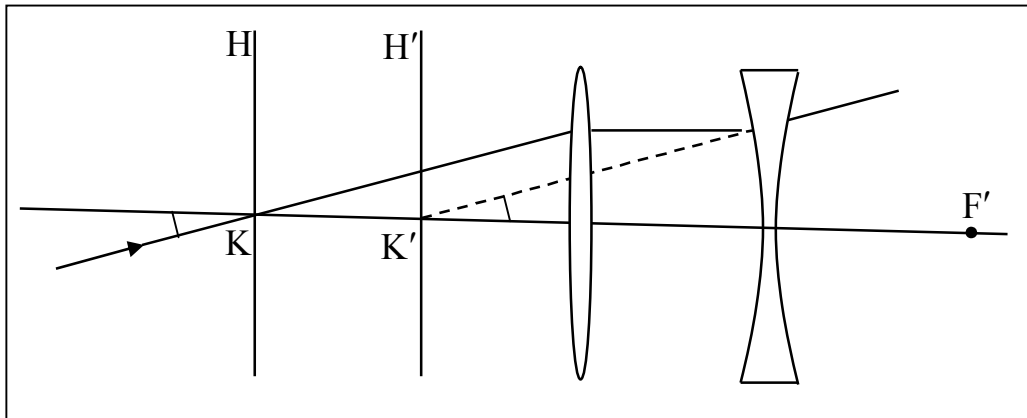


Рис. 5.2 Схема модели телеобъектива

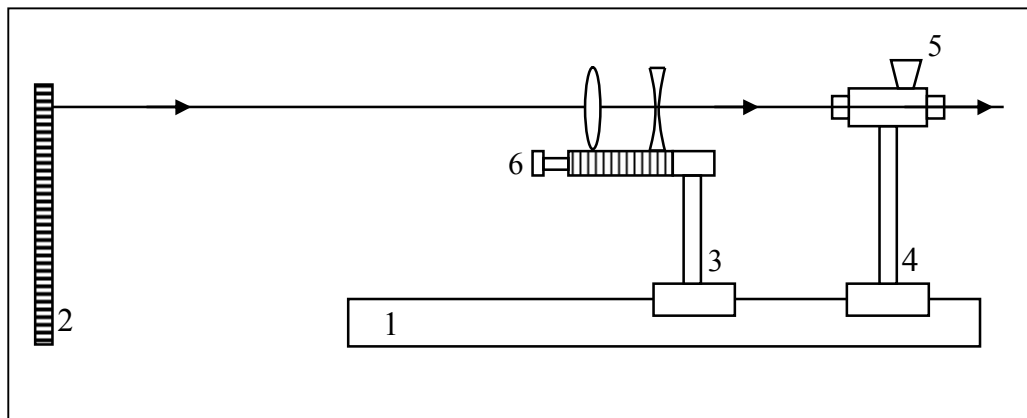


Рис. 5.3 Модель телеобъектива:

1 – оптическая скамья, 2 – объект наблюдения (линейка), 3 – модель телеобъектива, 4 – окулярный микрометр, 5 – микрометрический винт, 6 – винт.

В качестве объекта наблюдения используется метровая линейка с центральной деления равной 1 см. Линейка находится на расстоянии 4–5 м от оптической скамьи. В этом случае изображение линейки находится в задней фокальной плоскости модели телеобъектива.

Для измерения размера изображения, которое получается в фокальной плоскости телеобъектива, используется окулярный микрометр. В поле зрения всего 8 делений, а также подвижное перекрестие с двумя рисками (биштрих), которые перемещаются с помощью микрометрического винта 5 (см. рис. 5.3). Шкала барабана микрометрического винта разделена на 100 делений. Каждый оборот микровинта соответствует одному делению неподвижной шкалы окулярного микрометра. Следовательно, цена деления на барабане микрометрического винта равна 0,01 мм.

Оптическая сила Φ двух центрированных линз с оптическими силами Φ_1 и Φ_2 равна:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - d\Phi_1\Phi_2, \quad (5.1)$$

где d – расстояние от второй главной плоскости первой линзы до первой главной плоскости второй линзы. Для тонких линз d равно расстоянию между центрами линз.

Линзы можно перемещать по горизонтальной направляющей рейтера с помощью винта 6 (см. рис. 5.3). При перемещении одной линзы на расстояние 0,5 см, расстояние между линзами изменится на 1 см.

Линейное увеличение телеобъектива пропорционально заднему фокусному расстоянию f' телеобъектива:

$$\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f'}{d_1}, \quad (5.2)$$

где h – линейный размер предмета, h' – линейный размер изображения, d_1 – расстояние от предмета до передней главной плоскости Н (приблизительно до первой линзы телеобъектива), f' – заднее фокусное расстояние, которое равно:

$$f' = \Gamma d_1. \quad (5.3)$$

ЗАДАНИЕ № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЛИНЕЙНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕЛЕОБЪЕКТИВА ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЛИНЗАМИ

1. Отцентрируйте оптическую систему, установите на одном уровне линзы и окулярный микрометр. Получите чёткое изображение шкалы микрометра.

2. Установите между линзами минимальное расстояние. После этого переместите окуляр микрометра на такое расстояние от линз, для которого изображение шкалы линейки в поле зрения окулярного микрометра является максимально чётким, а шкала линейки попадает на перекрестие микрометра.

3. Измерьте длину l' видимого изображения части линейки длиной l (например, отрезка 10 см или менее):

а) совместите перекрестие окулярного микрометра с каким-либо делением изображения шкалы линейки и произведите отсчёт;

б) вращая микрометрический винт, совместите перекрестие с другим концом выбранного отрезка на линейке и произведите отсчёт;

в) определите длину l' видимого изображения выбранного отрезка как разность отсчётов в п. 3, б и п. 3, а.

4. Определите линейное увеличение телеобъектива $\Gamma = \frac{d_1 l'}{D_0 l}$, где

$D_0 = 25$ см – расстояние наилучшего зрения.

5. Проведите аналогичные измерения при других расстояниях L между линзами, увеличивая его каждый раз на 1 см.

6. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 5.1.

7. По полученным результатам постройте графики зависимости

$$\Gamma = f(L) \text{ и } \Gamma = f\left(\frac{\Gamma}{L}\right).$$

Табл. 5.1. Моделирование телеобъектива

№ опыта	d_1 , см	L , см	l , см	l' , см	Γ	$\frac{\Gamma}{L}$, см ⁻¹
1						
2						
3						
...						

8. Для максимального и минимального увеличения оцените фокусное расстояние согласно формуле (5.3).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

1. Что такое идеальная оптическая система?
2. Что такое кардинальные точки?
3. Как определить оптическую силу двух тонких линз?
4. В каком случае оптическая сила двух собирающих линз будет:
 - а) положительной;
 - б) равной нулю;
 - в) отрицательной.

Поясните ответ рисунком хода лучей.

5. Решите одну из задач (см. задачи для самостоятельного решения) по выбору преподавателя.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. На оптической скамье расположены две собирающие линзы с фокусными расстояниями $f_1 = 12$ см и $f_2 = 15$ см. Расстояние между линзами $l = 36$ см. Предмет находится на расстоянии $d = 48$ см от первой линзы. На каком расстоянии f от второй линзы получится изображение предмета?

2. Предмет находится в 20 см слева от линзы с фокусным расстоянием +10 см. Вторая линза с фокусным расстоянием +12,5 см расположена в 30 см справа от первой. Найдите положение изображения и увеличение, даваемое системой.

3. В трубку вставлены две двояковыпуклые линзы таким образом, что их главные оптические оси совпадают. Расстояние между линзами

$l = 16$ см. Главное фокусное расстояние первой линзы $f_1 = 8$ см, второй – $f_2 = 5$ см. Предмет высотой $h = 9$ см помещён на расстоянии $d = 40$ см от первой линзы. На каком расстоянии от второй линзы получится изображение? Какова его высота?

4. Источник света находится на расстоянии $a = 35$ см от собирающей линзы с фокусным расстоянием $f_1 = 20$ см. По другую сторону линзы на расстоянии $b = 38$ см расположена рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f_2 = 12$ см. Где будет находиться изображение источника?

5. Оптическая система даёт действительное изображение предмета. Где надо поставить собирающую линзу с фокусным расстоянием $f = 25$ см, для того чтобы изображение стало мнимым и увеличенным в четыре раза?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСКОПА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение микроскопа, заключающееся в моделировании его оптической системы, а также получении навыков в работе с промышленным биологическим микроскопом «Биолам-Р».

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: стеклянная пластинка с нанесённой на неё миллиметровой сеткой; дифракционная решётка с периодом 0,01 мм; микроскоп «Биолам-Р».

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ ОПЫТА

Микроскоп – оптический прибор, предназначенный для наблюдения мелких предметов, неразличимых глазом. Используемый в работе биологический микроскоп «Биолам-Р» изображён на рис. 6.1 и состоит из следующих частей: основания 1, коробки 2 с механизмом микрометрической фокусировки, тубусодержателя 3, предметного столика 4, конденсора 5,

головки 6, револьвера 7, монокулярной насадки 8, состоящей из тубуса и окуляра 9, объективов 10.

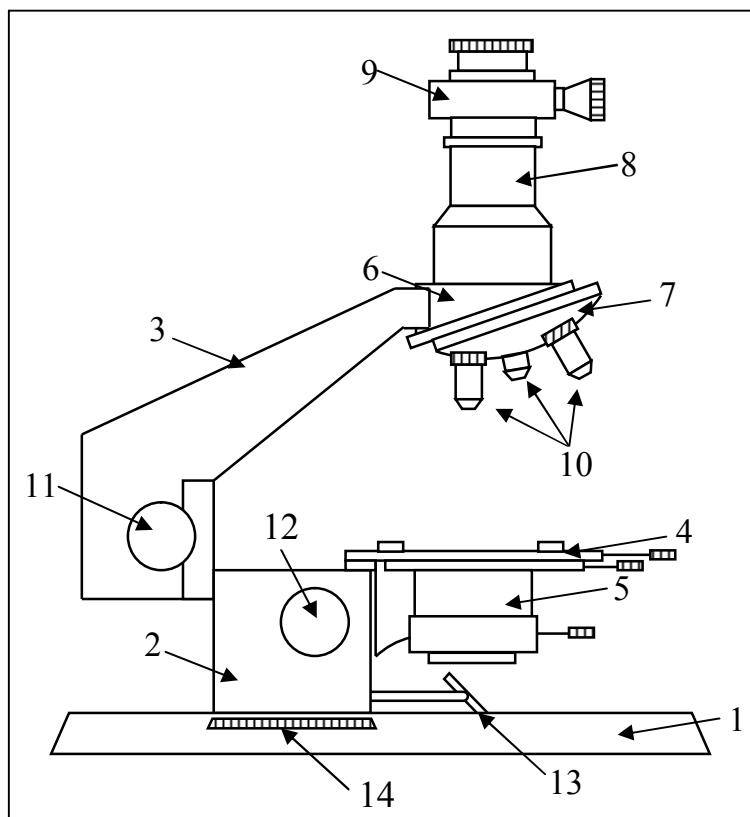


Рис. 6.1. Микроскоп «Биолам-Р»

Чтобы сфокусировать изображение в микроскопе, предусмотрена возможность грубого и микрометрического перемещения направляющей тубусодержателя. Грубая фокусировка производится вращением рукоятки 11, точная фокусировка осуществляется вращением диска 12, связанного с микрометрическим винтом. Один оборот диска соответствует перемещению тубуса на 0,5 мм. Общая величина перемещения тубуса при точной фокусировке не менее 2 мм. Под конденсором 5 устанавливается зеркало 13, которое имеет две отражающие поверхности: плоскую и вогнутую. Вогнутая поверхность используется при работе без конденсора с объективами малых увеличений. Рукоятка 14 служит для перемещения конденсора 5.

Упрощённая теория формирования изображения в микроскопе дана в лабораторной работе № 2. Напомним, что рассматриваемый предмет АВ (см. рис. 6.2 или 2.2) располагается вблизи передней фокальной плоскости

объектива $F_{об}$, немного за ней. Объектив, в качестве которого в простейшем случае может быть использована короткофокусная собирающая линза, даёт действительное изображение $A'B'$.

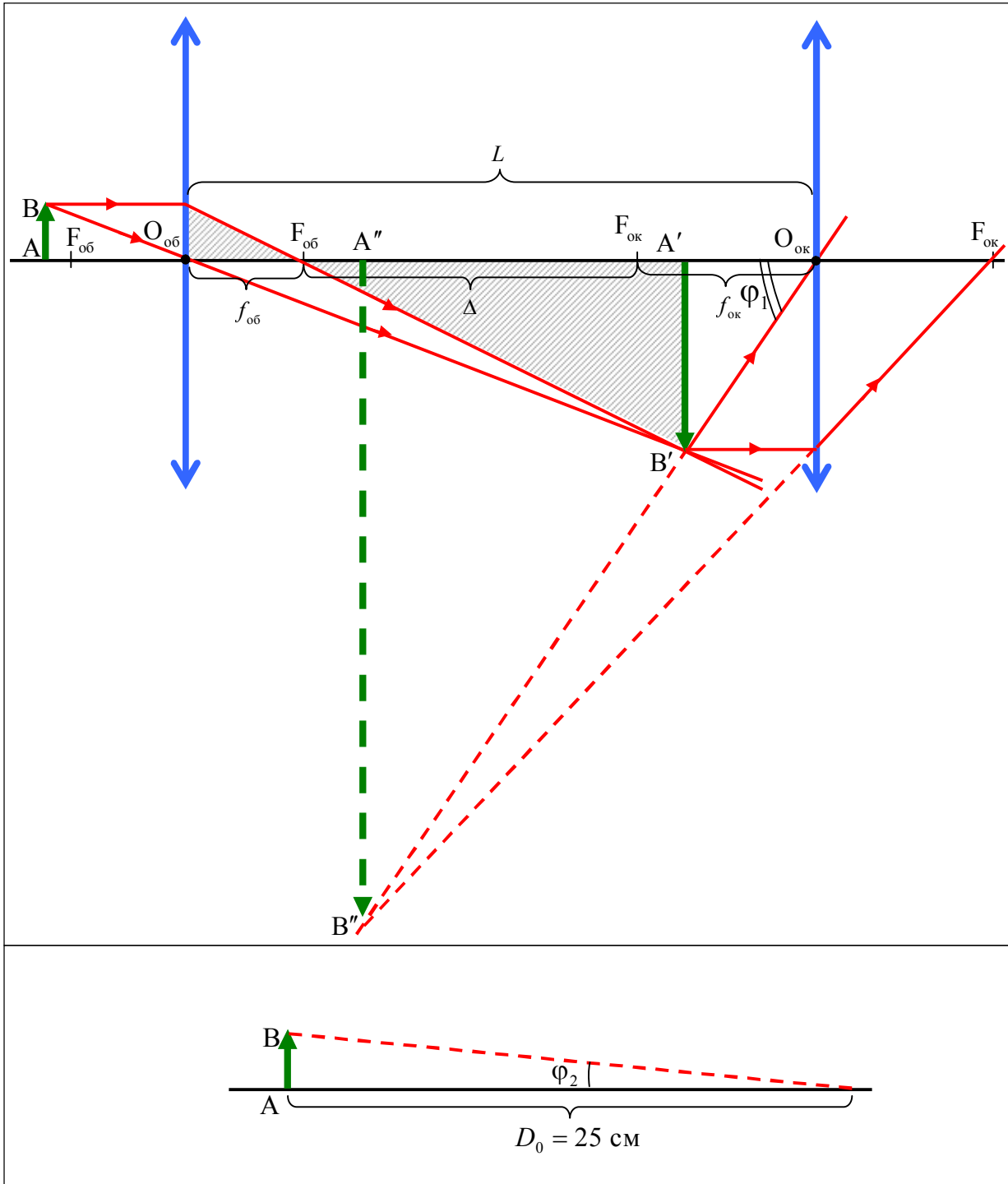


Рис. 6.2. Видимое увеличение микроскопа

Окуляр используется как лупа. Простейшая лупа состоит из одной собирающей линзы, которая располагается перед глазом так, чтобы рассматриваемый объект, в данном случае промежуточное изображение $A'B'$, находился вблизи её передней фокальной плоскости $F_{ок}$, несколько ближе к линзе. В этом случае возникает прямое увеличенное изображение $A''B''$.

Возможны два способа наблюдения предмета с помощью лупы:

1) глаз наблюдателя расположен в задней фокальной плоскости лупы и аккомодирован на бесконечность;

2) глаз расположен относительно лупы и аккомодирован таким образом, чтобы изображение $A''B''$ получилось на расстоянии наилучшего зрения $D_0 = 250$ мм.

Видимое увеличение микроскопа Γ^* (см. лабораторную работу № 2) определяется увеличением объектива и увеличением окуляра ($\Gamma^* = \Gamma_{об}^* \cdot \Gamma_{ок}^*$), при этом

$$\Gamma^* = \frac{D_0 \Delta}{f_{об} f_{ок}}. \quad (6.1)$$

Чтобы подчеркнуть, что конечное изображение является перевёрнутым по отношению к предмету формулу (6.1), где видимое увеличение дано по абсолютной величине, переписывают в виде:

$$\Gamma^{**} = -\frac{D_0 \Delta}{f_{об} f_{ок}}. \quad (6.2)$$

Напомним, что Δ – оптический интервал, равный расстоянию между задней фокальной плоскостью объектива и передней фокальной плоскостью окуляра (см. рис. 6.2 или 2.2).

Формула (6.2) справедлива для безымерсионного объектива. При наличии иммерсии с показателем преломления n увеличение микроскопа будет определяться согласно формуле:

$$\Gamma^{**} = -n \frac{D_0 \Delta}{f_{об} f_{ок}}. \quad (6.3)$$

Подчеркнём, что увеличение микроскопа незначительно меняется от изменения аккомодации глаза наблюдателя.

Расстояние между объективом и окуляром определяется длиной тубуса L_T , которая в современных микроскопах обычно составляет величину 160 мм или 190 мм. Если в качестве объектива и окуляра используются тонкие линзы, то

$$L_T = f_{об} + f_{ок} + \Delta. \quad (6.4)$$

Кроме увеличения, одним из важнейших параметров является числовая апертура A объектива, определяющая предел разрешающей способности объектива.

$$A = n \sin \theta, \quad (6.5)$$

где 2θ – угловая апертура в пространстве предметов, т. е. угол при вершине конуса светового пучка, попадающего от предмета в объектив, n – показатель преломления среды в пространстве предметов (показатель преломления иммерсии).

Предел разрешающей способности микроскопа определяется дифракционным пределом разрешения объектива и рассчитывается по формуле:

$$z = k \cdot \frac{\lambda_0}{n \sin \theta}, \quad (6.6)$$

где k – коэффициент порядка единицы, а λ_0 – длина волны излучения, освещающего объект.

Для увеличения разрешающей способности и светосилы микроскопа применяют иммерсионные объективы, когда пространство между предметом, и первой (фронтальной) линзой объектива заполняется прозрачным маслом с показателем преломления n . В случае однородной иммерсии, когда показатели преломления фронтальной линзы, иммерсионной жидкости и покровного стекла одинаковы, достигается наибольший эффект.

Основные требования, предъявляемые к объективу микроскопа, это:

- 1) высокая числовая апертура;
- 2) исправление сферической aberrации для широкого пучка лучей;
- 3) исправление хроматической aberrации.

Табл. 6.1. Характеристики микроскопа «Биолам-Р»

Обозначение	Ориентировочное собственное увеличение Γ_1^*	Числовая апертура A	Фокусное расстояние f_1 , мм	Рабочее расстояние d , мм	Поле зрения с окуляром с увеличением $\Gamma_2^* = 7$ y , мм	Предельная разрешающая сила при $\lambda_0 = 589$ нм z , мкм
$8 \times 0,20$	8	0,20	18,20	8,53	2,25	1,8
$10 \times 0,30$	10	0,30	16,18	4,80	1,80	1,2
$20 \times 0,40$	20	0,40	8,40	1,70	0,90	0,9
$40 \times 0,65$	40	0,65	4,25	0,41	0,45	0,55
$60 \times 1 - 0,7$ (масляная иммерсия)	60	1–0,7	3,01	0,22	0,30	0,36–0,51

Рабочим расстоянием объектива называется расстояние от исследуемого объекта до наружной поверхности линзы объектива. При использовании объективов с увеличением более 20 рабочее расстояние составляет величину, меньшую 1 мм. Поэтому при фокусировке необходимо соблюдать особую предосторожность, чтобы не раздавить линзы объектива или не испортить исследуемый объект.

Основным требованием, предъявляемым к окулярам, является устранение aberrаций типа астигматизма, дисторсии, хроматической aberrации.

В качестве окуляра в данной установке используется окулярный винтовой микрометр МОВ-1-15х с увеличением Γ_2^* и фокусным расстоянием $f_2 = 16,7$ мм.

С помощью окулярного микрометра можно определять размеры изображений в микроскопе. Окулярный микрометр состоит из окулярных линз, двух плоскопараллельных стеклянных пластинок: неподвижной со

шкалой с ценой деления 1 мм и подвижной, на которой нанесено перекрестие и биштрих. Подвижная пластинка перемещается с помощью микрометрического винта, на барабане которого нанесено по окружности 100 делений. Один полный оборот барабана соответствует перемещению перекрестия в пределах одного деления шкалы неподвижной пластинки. Таким образом, цена одного деления барабана равна 0,01 мм.

Размер объекта будет определяться увеличением объектива и величиной отсчета по окулярному винтовому микрометру. Объектами измерения служат стеклянная пластинка с нанесённой на неё сеткой с ценой деления 1 мм и дифракционная решётка с периодом 0,01 мм.

ЗАДАНИЕ № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕКТИВА И МИКРОСКОПА «БИОЛАМ-Р»

1. Ознакомьтесь с устройством микроскопа. Убедитесь, что положение тубуса соответствует 160 мм.

2. Включите и настройте осветитель.

3. С помощью окулярного микрометра определите коэффициент увеличения предложенных объективов по следующей методике:

– поместите на предметный столик микроскопа миллиметровую сетку;

– получите чёткое изображение штрихов в окуляре так, чтобы его шкала была параллельна горизонтальным линиям миллиметровой сетки;

– вращая барабан микрометрического винта, совместите перекрестие с левым (внутренним) краем миллиметровой клеточки; запишите показание окулярного микрометра N_1 ;

– вращая барабан микрометрического винта, совместите перекрестие с правым (внешним) краем клеточки; запишите показания окулярного микрометра N_2 ;

– вычислите увеличение объектива (его модуль) по формуле:

$$\Gamma_1^* = \frac{N_2 - N_1}{1 \text{ мм}}, \quad (6.7)$$

4. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 6.2.

Табл. 6.2. Измерение увеличения объектива с использованием миллиметровой сетки

№ опыта	L_T , мм	N_1	N_2	Γ_1^*
1	–			
2	–			
3	–			
Среднее значение	160			

5. Измерения, аналогичные измерениям, описанным в п. 3, проделайте, используя дифракционную решётку с периодом 0,01 мм. В этом случае

$$\Gamma_1^* = \frac{N_2 - N_1}{(0,01 \cdot m) \text{ мм}}, \quad (6.8)$$

где m – число штрихов решётки между первым и вторым положениями перекрестия окулярного микрометра.

6. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 6.3. Сравните увеличения в табл. 6.3 и 6.2.

Табл. 6.3. Измерение увеличения объектива с использованием дифракционной решётки

№ опыта	L_T , мм	N_1	N_2	Γ_1^*
1	–			
2	–			
3	–			
Среднее значение	160			

7. Изменяя длину тубуса, определите коэффициент увеличения микроскопа ($\Gamma^* = \Gamma_1^* \cdot \Gamma_2^*$), считая коэффициент увеличения окуляра $\Gamma_2^* = 5$. При выполнении данного пункта используйте один из объективов с увеличением $\times 8$, $\times 10$, $\times 20$.

8. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 6.4.

Табл. 6.4. Исследование зависимости увеличения микроскопа от длины тубуса

№ опыта	L_t , мм	N_1	N_2	Γ_1^*	Γ_2^*	Γ^*
1						
2						
3						
...						

9. Постройте график зависимости увеличения микроскопа от длины тубуса.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

1. Нарисуйте и поясните принципиальную упрощённую оптическую схему микроскопа?
2. Укажите назначение основных элементов микроскопа «Биолам-Р».
3. Что такое «абберации оптических систем»?
4. Перечислите абберации оптических систем, дайте им краткую характеристику.
5. Решите одну из задач (см. задачи для самостоятельного решения) по выбору преподавателя.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Мальчик, сняв очки, читал книгу, держа её на расстоянии $l = 16$ см от глаз. Какой оптической силы у него очки?
2. Найдите формулу увеличения лупы для того случая, когда наблюдатель устанавливает лупу так, чтобы:
 - а) видеть изображение на расстоянии наилучшего зрения;
 - б) адаптировать глаз на бесконечность.
3. Увеличение микроскопа $k = 600$. Определите оптическую силу объектива, если фокусное расстояние окуляра $f_{ок} = 4$ см, а длина тубуса $l = 24$ см.

4. Фокусное расстояние объектива микроскопа $f_{об} = 0,5$ см, а расстояние между объективом и окуляром микроскопа $a = 16$ см. Увеличение микроскопа $k = 200$. Найдите увеличение окуляра.

5. Фокусное расстояние объектива микроскопа $f_{об} = 1,25$ см, окуляра – $f_{ок} = 10$ мм. Расстояние между объективом и окуляром равно $l = 16$ см. Где должен быть помещён рассматриваемый объект и каково увеличение микроскопа для наблюдателя, расстояние наилучшего зрения которого $L = 25$ см?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волькенштейн, В. С. Сборник задач по общему курсу физики.
/ В. С. Волькенштейн. – СПб: Книжный мир, 2006.
2. Гольдфарб, Н. И. Сборник вопросов и задач по физике.
/ Н. И. Гольдфарб. – М.: Высшая школа, 1982.
3. Киндаев, А. А. Лабораторный практикум по физике: учеб.-метод.
пособие/ А. А. Киндаев, Т. В. Ляпина, Н. В. Паскевич. – Пенза: Изд-во
ПГУ, 2014.
4. Киндаев, А. А. Некоторые вопросы физики в кратком изложении.
/ А. А. Киндаев. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2013.
5. Трофимова, Т. И. Сборник задач по курсу физики с решениями.
/ Т. И. Трофимова. – М.: Высшая школа, 2008.
6. Чертов, Л. Г. Задачник по физике: учеб. пос. для студентов втузов.
/ Л. Г. Чертов, А. А. Воробьёв. – М.: Высшая школа, 1988.

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКИХ ЛИНЗ	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ.....	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА.....	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ РЕФРАКТОМЕТРОМ	32
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕОБЪЕКТИВА.....	40
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСКОПА.....	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	57

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

*КИНДАЕВ Алексей Александрович
РАЗУМОВ Алексей Викторович
ЛЯПИНА Татьяна Владимировна*

Лабораторный практикум по оптике Геометрическая оптика

**Редакторы:
Компьютерная вёрстка:**

**Подписано в печать 02.02.2017. Формат 60×841/16.
Усл. печ. л. 7,44.
Заказ № 513. Тираж 50.**

**Издательство ПГУ
Пенза, Красная, 40, т.: 56-47-33**